OSTWALD'S KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN.
Nr. 15.

CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

VEGETATION

VON

THÉOD. DE SAUSSURE.

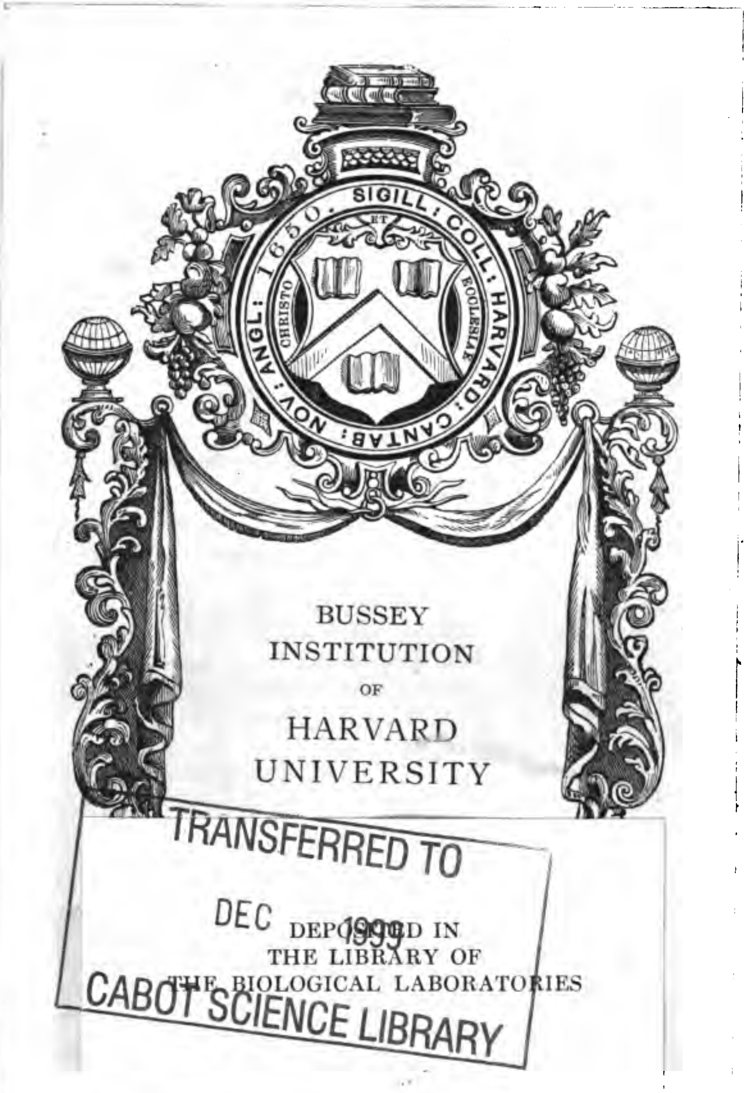
(1804.)

ERSTE HÄLFTE.

WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG.

1.80

Ankündigung.



Aus d. Italien. Übers... v.
...3.—.

... auf der dritten Seite des Umschlages.

CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

über die

VEGETATION

von

THÉOD. DE SAUSSURE.

In nova fert animus mutatas dicere formas
Corpora. Di! coeptis (nam vos mutastis et illas)
Aspirate meis.

Ovid. lib. I. Met.

PARIS
Bei Nyon Wwe., Buchhändler, rue du Jardinet, No. 2., im Jahr XII.
(1804.)

Uebersetzt
von
Dr. A. Wieler.

[Erste Hälfte.]

Mit einer Tafel.

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1890.

Vorrede.

Die Untersuchungen, mit denen ich mich in diesem Werke beschäftige, haben den Einfluss des Wassers, der Luft und des Humus auf die Vegetation zum Gegenstande. Ich gedenke indessen nicht, in alle Theile dieses ausgedehnten Gebietes einzudringen. Ich werde die Fragen erörtern, welche durch das Experiment entschieden werden können, und ich verzichte auf diejenigen, welche nur Muthmaassungen Raum geben. Thatsachen allein führen in der Naturgeschichte zur Wahrheit. Indem man diesen Weg verfolgt, ist man gezwungen anzuerkennen, dass die Auffindung der von der Natur für die Entwicklung der Pflanzen und für die Zusammensetzung ihrer Stoffe benutzten Mittel noch lange ausserhalb des Bereiches der Möglichkeit für uns liegen wird. [IV] Die Lösung dieser Fragen erfordert zuweilen Angaben, die wir nicht besitzen; sie verlangt genaue Verfahren für die Analyse der Pflanzen und eine vollkommene Kenntniss ihrer Organisation.

Die Functionen des Wassers und der Gase bei der Ernährung der Gewächse, die Veränderungen, welchen durch sie die Atmosphäre unterliegt, sind die Gegenstände, welche ich am eingehendsten erforscht habe. Die Beobachtungen *Priestley*'s, *Senebier*'s und *Jugenhousz*'s haben die Bahn eröffnet, welche ich durchlief, aber sie haben nicht das Ziel erreicht, welches ich mir setzte. Wenn die Einbildungskraft zuweilen die Lücken ausgefüllt hat, welche sie liessen, so geschah es durch Vermuthungen, deren Unzulänglichkeit stets durch die Unklarheit und den Widerspruch aufgedeckt worden ist. Für meine eudiometrischen Versuche habe ich mich theils des Schwefelkalis, theils des [V] Phosphors*) bedient. Diese Verfahren haben mir gestattet, meinen

*) Wenn ich in diesem Werke die Ablesungen des Phosphoreudiometers angegeben habe, so sind sie doch stets von dem Fehler befreit worden, welchen das Stickgas durch die Ausdehnung des Volumens,

Analysen eine Genauigkeit zu geben, welche meine Vorgänger mit dem Salpetergas-[Stickoxyd-]Eudiometer nicht erreichen konnten.

[VI] Meine Untersuchungen führen mich dazu zu zeigen, wie das Wasser und die Luft mehr zur Bildung der Trockensubstanz derjenigen Pflanzen, welche auf einem fruchtbaren Boden wachsen, beitragen, als die Materie des Humus selbst, welche sie im Wasser gelöst durch ihre Wurzeln aufnehmen.

Ferner beschäftige ich mich mit einem Gegenstande, der nur zu Hypothesen Veranlassung gegeben hat, nämlich mit dem Ursprung der Asche. Durch zahlreiche Versuche erforschte ich die Principien, nach denen die Asche in ihrer Menge oder ihrer Zusammensetzung je nach der Jahreszeit, der Natur der Gewächse und den Pflanzentheilen wechselt. Diese Arbeit hat mir mehrere neue Beobachtungen eingetragen, welche beweisen, dass alle soeben von mir erörterten Fragen gelöst werden können, ohne dass der Vegetation schöpferische Kräfte und Verwandlungen zugeschrieben werden müssen, welche mit bekannten Beobachtungen in Widerspruch stehen.

[VII] In den Experimenten über die Vegetation beeinflussen so viele und unvorhergesehene Ursachen die Ergebnisse, dass man sich niemals darüber hinwegsetzen darf, alle sie begleitenden Umstände auseinanderzulegen. Die Einzelheiten über diesen Gegenstand, in welche ich mich vertiefen werde, werden dazu dienen, den Grad von Vertrauen zu bestimmen, welchen man

---

dem es durch die Lösung des Phosphors unterworfen ist, einführen könnte. *Berthollet* hat genau die Correctur bestimmt, welche diese Volumenvermehrung erforderte. Es giebt indessen einen Fall, wo diese Correctur vernachlässigt werden kann; dann, wenn man die Verdichtung des Sauerstoffgases genau in dem Augenblick, wo sie ihr Maximum erreicht, oder wenn der Phosphor aufhört, weisse Dämpfe zu bilden, beobachtet. Das Stickgas beginnt, sich bei dieser Operation auszudehnen nur, wenn es kein Sauerstoffgas mehr enthält. Während der ersten Momente seines Verschwindens ist die Ausdehnung des Stickgases unmerklich; sie erreicht gewöhnlich ihre äusserste Grenze erst vierundzwanzig Stunden nach der vollständigen Absorption des Sauerstoffgases.

Ich habe mich zu meinen Versuchen der schnellen Verbrennung und der von *Giobert* (Analyse des eaux de Vaudier) angegebenen gekrümmten Röhre bedient. Ich neige das Eudiometer, wenn der Phosphor schmilzt, so, dass er fliesst und sich über die ganze Länge der Röhre ausbreitet. Nach diesem Verfahren ist die Analyse der Luft in weniger als einer halben Stunde vollendet und bedarf während dieses Zeitraums keiner Correctur.

meinen Untersuchungen beimessen darf; sie werden den Widersprüchen vorbeugen, welche aus den Verschiedenheiten der Verfahren entspringen mögen; sie werden die Irrthümer erklären, denen ich mich nicht schmeicheln kann entgangen zu sein in einer Reihe langer und schwerer Experimente, die vielleicht in ihren Ergebnissen nur auf die meiner Prüfung unterworfenen Pflanzenarten anwendbar sind. Der Weg, welchen ich mir vorgezeichnet habe, ist ohne Zweifel trocken und ermüdend; aber wenn man bedenkt [VIII], dass die Vervollkommnung des Ackerbaues das Ziel ist, dem er zustrebt, so wird man seine Beschwerlichkeit ertragen und seine Mängel entschuldigen.

Chemische Untersuchungen über die Vegetation.

Erstes Kapitel.

Ueber den Einfluss des Sauerstoffgases auf die Keimung.

§ 1.

Von der Keimung.

Das Sauerstoffgas und das Wasser sind zwei gleichzeitig von der Natur angewandte Mittel, um in den Samen die unter dem Namen Keimung bekannte Entwicklung anzuregen. Das Wasser allein vergrössert zwar, indem es in das Zellengewebe eindringt und es erfüllt, ihr Volumen, aber bringt sie nicht zum Keimen. Das Würzelchen ist für eine grosse Zahl Samenkörner, aber nicht für alle, ein Anzeichen der Keimung. [2] Einige bringen dies Organ an's Licht durch eine Quellung in Folge von Wasserimbibition und nicht durch einen Wachsthumsakt. Hieran kann man nicht zweifeln, da man weiss, dass manche todte Körner oder solche, welche durch ihr Alter die Fähigkeit zu keimen eingebüsst haben, nichtsdestoweniger ihr Würzelchen treiben, als wenn sie einer neuen Entwicklung fähig wären.

Der Caffe z. B. *), welcher nur keimen kann, wenn er nicht später als fünf oder sechs Wochen, nachdem er geerntet, ausgesäet worden ist, zeigt die in Frage stehende Erscheinung nach Ablauf einer unbegrenzten Zahl von Jahren, und zwar nicht nur in kaltem Wasser ohne Luftzutritt, sondern auch in Flüssigkeiten, welche sicher unfähig sind, die Vegetation anzuregen oder

*) *Valmont de Bomare*, Dictionnaire d'Histoire naturelle (article Café) hat diese Erscheinung kennen gelehrt; aber man hat sie ohne Grund einer wirklichen Keimung zugeschrieben. Linsen, welche die Keimkraft verloren haben, besitzen dieselbe Eigenschaft in weniger auffallender Weise.

zu unterhalten, wie kochendes Wasser, Essig und mehrere gesättigte Salzlösungen. Dies sehr geringe Wachsthum, dessen Ende man vor der dasselbe hervorrufenden Quellung bestimmen kann, ändert weder den Geschmack, noch den Geruch, noch irgend eine Eigenschaft der Saat; [3] die Wasserimbibition ohne Luftzutritt hat keine andere Wirkung, als den Samen für eine schnelle Fäulniss geeignet zu machen.

Einige Samen, wie Erbsen, Linsen, die Samen von Wasserpflanzen können in Wasser keimen, aber nur in einem Wasser, welches nicht rein ist, oder welches Sauerstoffgas enthält, der nicht in seine Zusammensetzung eingeht. Ich brachte unter einen mit Quecksilber gefüllten Recipienten kochendes Wasser und, nachdem dasselbe abgekühlt war, Erbsen, Linsen und Samen von Alisma Plantago und Polygonum amphibium; sie gaben kein Zeichen von Keimung von sich, als die Menge des gekochten Wassers das Sieben- bis Achtfache des Gewichtes der Samen nicht überschritt; als aber diese Menge hundert- oder zweihundert Mal grösser war, keimten sie, und die Verlängerung ihres Würzelchens stand im Verhältniss zu der Wassermenge, die sie umgab. Es ist vielleicht überflüssig, den Grund dieses verschiedenen Verhaltens zu erklären oder daran zu erinnern, dass das Aufkochen das Wasser nicht allen Sauerstoffgases beraubt, das in ihm im Zustande der Vertheilung oder Lösung enthalten ist, und dass ich, indem ich die Flüssigkeitsmenge vermehrte, genug Luft hinzufügte, um in dem Samenkorn eine sehr schwache Entwicklung anzuregen. Man hat behauptet, dass die im Wasser gequollenen Erbsen, unter Oel getaucht, keimten. [4] Ich habe dies Experiment mehrfach wiederholt, erhielt aber niemals das angekündigte Ergebniss.

Humboldt hat gefunden, dass die Samen in sehr verdünnter wässeriger oxygenirter Salzsäure [Chlor] keimten. Als ich diesen Versuch in der Dunkelheit mit fester oxygenirter Salzsäure [wahrscheinlich Chlorhydrat], welche in gekochtem Wasser gelöst war, und ohne Zutritt der Luft wiederholte, erhielt ich dasselbe Ergebniss. Er beweist, dass es nicht durchaus nothwendig ist, dass der Sauerstoff frei oder ungebunden sei, um Keimung zu bewirken, aber diese Säure ist bis jetzt, wenigstens nach meinen Versuchen, die einzige Substanz, welche die Wirkung hervorbringen kann. Die verdünnte Salpetersäure, der man denselben Einfluss zugeschrieben hat, übt ihn nicht ohne Berührung mit der äusseren Luft aus. Ebenso prüfte ich erfolglos Schwefelsäure und einige andere Säuren aus der Klasse

derjenigen, bei welchen der Sauerstoff am wenigsten fest gebunden ist; ich war nicht glücklicher, als ich der nämlichen Versuchsanstellung ohne Berührung mit der äusseren Luft ein Gemisch von ausgekochtem Wasser und verschiedenen Metalloxyden wie das schwarze Manganoxyd, das rothe Quecksilber- und das rothe Bleioxyd unterwarf. [5] Alle diese Versuche stellte ich in Glasflaschen an, die ich mit der bis zur Siedetemperatur erwärmten Flüssigkeit füllte; als diese bis auf die Temperatur von 30° Réaumur abgekühlt war, brachte ich die Samen hinein. Die Flaschen wurden darauf sorgfältig verschlossen und in Quecksilber getaucht. Die Menge des zu jedem Versuch benutzten Wassers überstieg nicht das Sieben- bis Achtfache vom Gewichte der Samen. An Samen wurden geprüft Linsen, Bohnen, Saubohnen, Erbsen, die Samen von Alisma Plantago und von Polygonum amphibium.

Eine Saubohne, Erbse und Bohne zeigt, wenn sie ohne Berührung mit Sauerstoffgas im Wasser gequollen und ihrer Hüllen beraubt ist, einen bewunderungswürdigen Bau. Mit Hülfe des Mikroskops entdeckt man in dem zarten Häutchen, welches man von der Oberfläche der Cotyledonen loslösen kann, ein regelmässiges Gewebe aus polyedrischen Zellen. Dies Gewebe ist auf dem Rücken des Samens und an den Rändern der Cotyledonen mit jenen Oeffnungen oder drüsigen Grübchen besetzt, welche auf der Oberfläche der entwickelten Blätter einen so schönen Anblick gewähren*); [6] man findet sie sehr reichlich bei den Erbsen auf den einander zugekehrten Flächen der Samenlappen.

Wenn die Samenkörner durch die Berührung mit dem Sauerstoffgas anfangen zu keimen, so ist die Verlängerung ihres Würzelchens über jene Grenze hinaus, welche es durch eine blosse Quellung im Wasser erreichen könnte, das einzige Anzeichen ihres Vegetirens, sonst aber giebt es keine plötzliche Veränderung; kein wesentlicher Unterschied lässt sich bemerken zwischen dem Bau eines durch reines Wasser aufgequollenen und dem eines soeben gekeimten Kornes. Nur durch ein länger dauerndes Wachsthum werden die Veränderungen, welche der Keimling aufweist, bemerkbar; er fault nicht, wie er es bei Abwesenheit

*) Diese Beobachtung, welche ich nur bestätigen kann, rührt von *Sprengel* her (Anleitung zur Kenntniss der Gewächse. Bd. I, p. 396). Sie zeigt, in Uebereinstimmung mit analogen Beobachtungen, dass diese Oeffnungen nicht durch Berührung mit Luft entstehen.

von Sauerstoffgas gethan haben würde; aber sein Geschmack ändert sich; er wird scharf oder süss je nach der Natur des Gewächses; die Cotyledonen werden grün, da sie dem Licht ausgesetzt sind; und mit Hülfe verzweigter Canäle, welche uns gefärbte Einspritzungen zeigen können, entleeren sie sich in die sich entfaltende Pflanze.

§ 2.

[7] **Ueber die Rolle des Sauerstoffgases bei der Keimung.**

Unsere Hülfsmittel sind zu beschränkt, um die Ursachen der Entwicklung der Gewächse zu entdecken, um den letzten Grund ihrer wunderbaren Organisation zu sehen und um zu erklären, wie sie durch das Wachsthum vor der Fäulniss oder der Zerstörung geschützt werden, der sie besonders durch die gegenseitige Verwandtschaft ihrer Elemente ausgesetzt zu sein scheinen. Wir haben gesehen, dass das Sauerstoffgas nothwendig war, damit die Keimung stattfand; wir werden uns darauf beschränken, nachzuforschen, ob es das Samenkorn verändert, indem es sich mit demselben verbindet, oder indem es ihm irgend ein Element entzieht; es könnte ferner als Reizmittel wirken, aber ich werde mich nicht mit dieser unbestimmten und geheimnissvollen Thätigkeit beschäftigen, da sie hier keinem entscheidenden Versuche unterworfen werden kann.

Lässt man ein Samenkorn in Sauerstoffgas keimen, so verschwindet letzteres und wird gleichzeitig durch Kohlensäuregas ersetzt. *Rollo**), welcher dies für die Gerstenkörner beobachtete, [8], hat geglaubt, dass das verbrauchte Sauerstoffgas folgendermaassen verwendet worden sei; erstens sei es zum grössten Theil von dem Korne absorbirt worden, zweitens bilde es mit dem Kohlenstoff des Samens kohlensaures Gas. In dieser Meinung kann man nur eine Muthmaassung erblicken, die sich auf keine genaue Analyse gründet.

Es schien mir, dass man über das, was sich in dieser Hinsicht bei der Keimung zuträgt, nur Licht verbreiten konnte, indem man die Menge des verbrauchten Sauerstoffgases mit der gleichzeitig gebildeten Menge kohlensauren Gases verglich. Wenn die Menge des verbrauchten Sauerstoffgases diejenige Menge, welche in das während des Processes gebildete kohlensaure Gas eingeht, übersteigt, so kann man daraus schliessen, dass in der That

*) Annales de Chimie, t. 25, p. 40.

der Same Sauerstoffgas absorbirt hat; aber wenn diese beiden Mengen beständig gleich sind, so muss man daraus folgern, dass Sauerstoffgas nicht von dem Samen absorbirt worden ist, sondern dass es lediglich dazu gedient hat, der Pflanze Kohlenstoff zu entziehen, indem es mit ihm kohlensaures Gas bildet.

Ich habe im Journal de physique im Jahre 7 die Einzelheiten meiner Untersuchungen über diesen Gegenstand mitgetheilt. Ich stellte sie in gewöhnlichen mit Luft gefüllten Glocken, die durch Quecksilber abgesperrt waren, an, und brachte nur eine sehr kleine Menge Wasser hinein, [**9**] die gerade genügte, um die Samen keimen zu lassen, damit nicht die Flüssigkeit das bei der Keimung gebildete kohlensaure Gas in merklicher Weise verschwinden liess. Ich stellte diese Versuche mit Samen von Erbse, Saubohne, Bohne, Gerste, Korn [blé, wahrscheinlich Weizen], Lattich, Portulak und Gartenkresse an; sie lieferten alle das soeben mitgetheilte Ergebniss.

Indem sich bei der Verbrennung der Kohlenstoff mit dem Sauerstoffgas verbindet, darf sich das Volumen des letzteren nicht sichtlich ändern; denn aus der Berechnung findet man, wenn man den Angaben *Lavoisier*'s folgt, dass 100 Cubikzoll kohlensaures Gas 49,67 Gran Sauerstoffgas enthalten, die 98 Cubikzoll Sauerstoffgas entsprechen.*) Die keimenden Samen ändern ebenso wenig wie der brennende Kohlenstoff in wahrnehmbarer Weise das Volumen des Sauerstoffgases, das sie in kohlensaures Gas verwandeln. Lässt man z. B. Samen in 100 Cubikzoll gewöhnlicher Luft keimen, [**10**] die 21 Cubikzoll Sauerstoffgas und 79 Cubikzoll Stickgas [Stickstoff] enthalten, so findet man, dass, wenn bei der Keimung 14 Cubikzoll kohlensaures Gas gebildet worden sind, nur 7 Cubikzoll freies Sauerstoffgas in der Atmosphäre, oder dass, wenn 7 Cubikzoll kohlensaures Gas gebildet worden sind, im Recipienten 14 Cubikzoll Sauerstoffgas übrig geblieben sind. Das Volumen des verbrauchten Sauerstoffgases ist also gleich dem Volumen des gleichzeitig gebildeten kohlensauren Gases. Dies Ergebniss, welches bis jetzt keine Ausnahme zulässt, ist eine Beobachtung, welche uns über

*) Als er Kohle im Sauerstoffgas verbrannte, hat *Lavoisier* gefunden, dass dasselbe eine kleine Verminderung erlitt, die ungefähr $\frac{5}{100}$ seines Volumens gleichkommt. Diese Differenz rührt daher, dass man die Kohle nicht vollständig vom Wasserstoffgas befreien kann, daher ist die Verminderung um so geringer, je reiner und trockener die benutzte Kohle war. (Mémoires de l'Académie des Sciences, année 1781.)

die Verwendung des Sauerstoffgases bei der Keimung aufklären muss, welcher Ansicht über die Verhältnisse der constituirenden Bestandtheile des kohlensauren Gases man auch immer huldigen möge.

Um die angegebenen Wirkungen zu beobachten, müssen die Samen in unmittelbarer Berührung mit dem Sauerstoffgas sein; wenn sie ihm entzogen sind durch eine Wasserschicht oder durch zu grosse Anhäufung, verfaulen sie und liefern alsdann Wasserstoffgas und kohlensaures Gas, während sie bei der Keimung nur Kohlenstoff verlieren.

Rollo, welcher gesehen hat, dass die befeuchteten Samen in einem sauerstoffgasfreien Medium kohlensaures Gas bilden, [**11**] schloss daraus, dass sie dies Gas oder seine beiden Elemente entwickeln, wenn Sauerstoffgas zugegen ist. Aber es giebt keinen Vergleich, man kann keine Analogie aufstellen zwischen einem Samen, der unter dem Einfluss des Sauerstoffgases keimt, und einem Samen, der sich an einem sauerstoffgasfreien Orte zersetzt.

Die Wirkung des Sauerstoffgases auf die Cotyledonen, selbst wenn sie in der Erde bleiben, wie diejenigen der Saubohne und der Bohne, ist dem Wachsthum der Pflanze nach ihrer Keimung nützlich; denn, wenn man diese Samen im Wasser keimen lässt, so kann die Pflanze, welche aus ihnen entsteht, in der Luft nur gedeihen, so lange die Cotyledonen sich über der Oberfläche der Flüssigkeit befinden.

Die Samen, welche mit Hülfe des Wassers unter einem mit reinem Sauerstoffgas gefüllten Recipienten keimen, bilden unter sonst gleichen Umständen eine sehr viel grössere Menge kohlensaures Gas als unter einem mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten. Das kohlensaure Gas scheint in allen Mengenverhältnissen dem Beginn der Keimung schädlich zu sein. Bringt man unter den mit Luft gefüllten Recipienten, in dem man die Samen keimen lässt, befeuchteten ungelöschten Kalk, so dass sie mit dieser Erde nicht in Berührung kommen, so wird das Wachsthum ihres Würzelchens etwas beschleunigt. [**12**] Eine noch so kleine Menge kohlensaures Gas der gewöhnlichen Luft beigemengt, in welcher die Samen keimen, verzögert die Keimung mehr als eine gleiche Menge Wasserstoffgas oder Stickgas.

Einen Unterschied im Beginn der Keimung der Samen, welche zu gleicher Zeit in gewöhnliche Luft und in reines Sauerstoffgas gebracht worden waren, konnte ich nicht wahrnehmen. Ebensowenig fand ich, dass Erbsen, Korn [blé, wahrscheinlich Weizen]

und Kressesamen, als sie der freien Luft auf zwei Schwämmen ausgesetzt waren, von denen der eine mit durch die Compressionspumpe stark sauerstoffgashaltig gemachtem Wasser, der andere mit ausgekochtem Wasser benetzt worden war, zu verschiedenen Zeiten keimten. Als ich den Versuch längere Zeit fortsetzte, während ich die Würzelchen in ausgekochtes und in sauerstoffgashaltiges Wasser getaucht hielt, haben sie sich beharrlich in letzterem weniger verlängert. Man kann diese Wirkung zwei Ursachen zuschreiben, erstens, dass das reine Sauerstoffgas den Samen eine grössere Menge Kohlenstoff entzieht, zweitens, dass das in reichlicherer Menge vorhandene kohlensaure Gas ihrer ersten Entwickelung nachtheilig ist. Ueberhaupt scheint dies Gas den Gewächsen nur soweit nützlich zu sein, als sie es zersetzen können; die Samen scheinen vor der Entfaltung ihrer Plumula diese Zersetzung nicht bewirken zu können.

[13] Es ist vielleicht überflüssig zu bemerken, dass die Samen je nach der Species verschiedene Mengen Sauerstoffgas zum Beginn der Keimung verlangen; die Bohnen, die Saubohnen und die Lattichsamen verbrauchen bei gleichem Gewicht mehr als die Erbsen, und diese mehr als das Getreide [blé, wahrscheinlich Weizen], die Gerste und der Portulak. Es ist sehr schwer, diese Mengen mit Sicherheit in Zahlen anzugeben, da der genaue Zeitpunkt der Keimung immer etwas unsicher bleibt. Die zur Einleitung der Keimung verbrauchte Sauerstoffgasmenge scheint mir bei der Bohne, der Saubohne und dem Lattich ungefähr dem hundertsten Theil, bei dem Weizen, der Gerste und dem Portulak dem tausendsten oder dem zweitausendsten Theil ihres Gewichtes gleichzukommen. Der Kohlenstoff, welchen diese Samen zu gleicher Zeit verlieren, beträgt ungefähr ein Drittel dieser Mengen.

Die von denselben Samen zur Keimung verwendete Sauerstoffgasmenge ist unter sonst gleichen Verhältnissen ihrem Gewichte und nicht ihrer Zahl proportional. Ich wählte 4 grosse Saubohnen, deren Gewicht dem von 23 kleineren entsprach, und liess die grossen und kleinen Bohnen zu gleicher Zeit, aber getrennt unter zwei durch Quecksilber abgesperrten Recipienten keimen. [14] Die 4 grossen Bohnen hatten bei diesem Verfahren ebenso viel Sauerstoffgas wie die 23 kleinen verbraucht. Ein grosses Samenkorn erfordert demnach mehr Sauerstoffgas, um sich zu entwickeln, als ein kleines derselben Art; dies wird in der Erde in grösserer Tiefe keimen können als jenes. Wenn die

Erfahrung lehrt, dass die grossen Samenkörner sich in einer Tiefe entwickeln, wo die kleinen zu Grunde gehen, so rührt das nicht daher, weil die letzteren dort nicht keimen, sondern weil ihre schwächere Plumula die Erde, welche sie bedeckt, nicht emporzuheben vermag.

§ 3.

Ueber die Veränderungen, welche das Samenkorn durch die Keimung erfährt.

Man beobachtet bei der Keimung nichts, was auf eine Zersetzung des Wassers schliessen liesse; denn die Samen geben weder Wasserstoffgas noch Sauerstoffgas von sich; letzterer macht einen Theil des von ihnen gebildeten kohlensauren Gases aus, gehörte aber vor der Keimung der Atmosphäre an.

[15] Werden die Samen im Wasser untergetaucht oder zusammen mit dieser Flüssigkeit in reines Stickgas gebracht, so geben sie kohlensaures Gas, Kohlenwasserstoffe und Stickgas von sich, aber diese Ausscheidungen sind Bestandtheile der Substanz des Samenkorns, welche sich von ihr während der Fäulniss trennen, da sie nur bemerkt werden, wenn der Same anfängt zu faulen, aber niemals während seiner Lebensthätigkeit oder seiner Entwicklung, ja nicht einmal während seiner Fäulniss, wenn dieselbe in unmittelbarer Berührung mit Sauerstoff vor sich geht.*)

*) Ich sage in unmittelbarer Berührung; denn die Berührung der atmosphärischen Luft mit dem Wasser, in welchem die todten Körner untergetaucht sind, vermehrt sonderbarerWeise die Entwicklung des Wasserstoffgases. Werden Samen in ein wenig Wasser gebracht, das mit einer Oelschicht bedeckt ist, oder ohne Oel unter einen Recipienten, der mit einer kleinen Menge Wasser erfüllt und mit Quecksilber abgesperrt ist, so können sie nur sehr wenig Gas ausscheiden, höchstens das drei- bis vierfache ihres Volumens; das Gewächs ändert sich aber nicht wahrnehmbar. Lässt man jedoch das Quecksilber oder das Oel bei Seite, so hat die Wasserstoffgasentwicklung keine anderen Grenzen als das fast vollständige Verschwinden des Samenkorns. Der mechanische Druck des Oels oder des Quecksilbers könnte diese Entwicklung aufheben, in meinen Experimenten jedoch war er nicht bedeutend genug, um diese Wirkung hervorzurufen, denn eine Wassersäule, welche an Gewicht den Säulen der anderen Flüssigkeiten gleichkommt, hält die Gasentwicklung nicht auf. Ich glaube, dass das kohlensaure Gas, welches das Wasser in grösserer Menge zurückhält als bei Berührung mit Luft, dem Samen als Antisepticum dient.

[16] Mehrere Samen gehen beim Keimen in der atmosphärischen Luft aus dem schleimigen in den zuckerigen Zustand über. Da *Rollo* beobachtet hatte, dass sie diesen Geschmackswechsel in reinem Wasser oder in sauerstoffgasfreien Medien nicht erleiden, und da die Analyse schon seit langem gezeigt hat, dass der Zucker mehr Sauerstoffgas enthält als der Schleim, so hat man aus diesen Beobachtungen geschlossen, dass sich der Zucker im Samenkorn nur bildet, weil es sich mit dem Sauerstoffgas der Luft verbindet, oder weil es das Wasser, von dem es umgeben ist, zersetzt.

Diese Schlüsse oder Erklärungen sind nicht nöthig; denn der Schleim der Samen besteht aus Wasserstoffgas, Sauerstoffgas und Kohlenstoff, und der Antheil des Sauerstoffgases an der Verbindung kann ebenso gut vergrössert werden durch Entzug eines anderen Elementes (des Kohlenstoffs) als durch Hinzutritt von neuem Sauerstoffgas.

Wenn ich mittelst reinen Wassers in einem geschlossenen Gefäss irgend ein Samenkorn, das vor dem Versuch bis zum Aeussersten getrocknet worden war, keimen [17] und nach seiner Keimung wieder trocknen liess, so fand ich stets, dass dieser gekeimte und wieder getrocknete Samen weniger wog als vor seiner Keimung, obgleich ich ihm bei der Berechnung den Kohlenstoff, welchen er in dem kohlensauren Gase theils während des Wachsthums, theils während des Trocknens verloren hatte, und ausserdem die kleine Schleim- oder Extractmenge zulegte, welche in dem Wasser geblieben war, das zu seiner Entwicklung gedient hatte.

Dies sonderbare Ergebniss kann, wie ich glaube, nur erklärt werden, wenn man zugiebt, dass der Same Wasser verloren hat, das ehemals an seine eigene Substanz gebunden war. Es bleibt noch übrig zu bestimmen, ob dies Wasser während der Keimung oder nach dem Tode des Samens während des Trocknens verloren worden ist. Es schien mir nur während des letzten Vorganges zu geschehen, da der Gewichtsverlust, als ich die Vegetationszeit auf das Doppelte oder Dreifache verlängerte, immer der nämliche geblieben ist, während der Verlust viel beträchtlicher gewesen ist, als ich die Zeit des Trocknens verlängerte. Drei und siebzig vor fünf Jahren geerntete Erbsen, welche sich seit mehreren Wochen in einem constant auf 20° R. erwärmten Dampfbade befanden, wogen zusammen 200 Gran. [18] Sie sind mit ihrem fünffachen Gewicht Wasser in eine mit atmosphärischer

Luft gefüllte Flasche gebracht worden, die durch einen Glasstopfen verschlossen und umgekehrt in Quecksilber gestellt wurde. Nach Verlauf von zwei Tagen nahm ich die Samen heraus; sie hatten fast alle gekeimt und während dieser Entwicklung $4\frac{1}{2}$ Cubikzoll kohlensaures Gas gebildet, die nach *Lavoisier* 0,85 Gran Kohlenstoff enthalten. Das in der Flasche zurückgebliebene Wasser lieferte nach der Verdampfung bei gelinder Wärme einen Rückstand von 0,75 Gran Schleim oder Extract.

Ich liess diese Samen in einem flachen Gefäss in demselben Dampfbade trocknen, in dem sie gekeimt hatten, und prüfte durch vergleichende Experimente mit anderen Samen die Veränderungen, welche durch sie ihre Atmosphäre erleidet, wenn sie austrocknen; ich fand, dass sie kein Wasserstoffgas entwickeln, und dass sie wie beim Keimen mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft kohlensaures Gas bilden, ohne dasselbe ausschliesslich aus ihrer eigenen Substanz zu erzeugen. Die Menge Kohlenstoff, welche die todten Samen verloren, schien mir geringer zu sein als die der vegetirenden während derselben Zeit und bei der nämlichen Temperatur; sie brauchten zwei Tage zum Trocknen oder die nämliche Zeit wie zum Keimen. [**19**] Der Kürze wegen will ich annehmen, dass die Kohlenstoffmengen, welche sie bei diesen beiden Vorgängen verloren haben, gleich seien. Die Samen gaben beim Trocknen weder durch den Geruch noch durch andere Producte, noch durch das Aussehen irgend ein Zeichen von Fäulniss oder Veränderung von sich. Nur ihr Volumen verminderte sich merklich. Die Samen mussten nach den von mir angeführten Ergebnissen trocken $200 - 0{,}85 \times 2 - 0{,}75 = 197{,}5$ Gran wiegen; nun habe ich aber gefunden, dass sie nur 189 Gran wogen, sie haben nur Wasser ausser den Bestandtheilen, von denen ich gesprochen habe, verlieren können, und dies verlorene Wasser betrug ungefähr 8 Gran.

Ich wiederholte denselben Versuch bei derselben Temperatur mit vollkommen gleichen Samen, indem ich sie in der Flasche während 4 Tage anstatt zweier wachsen oder keimen liess; sie haben fast die doppelte Menge Kohlenstoff, aber nur 8 Gran Wasser wie in dem vorhergehenden Experiment verloren, da die Zeit des Trocknens die nämliche geblieben war. Als ich mit dem Trocknen längere Zeit fortfuhr, indem ich die Samen einer niedrigeren Temperatur an einem feuchteren Ort aussetzte, vergrösserte sich der Wasserverlust.

Diese Versuche wiederholte ich mit Bohnen und Saubohnen, die Ergebnisse sind die gleichen gewesen. [20] Der trockne Same wog gekeimt weniger als ungekeimt; und diese Differenz stellte sich als viel grösser heraus, als sie sich aus dem Verlust an reinem Kohlenstoff und an Extract ergeben durfte.

Da der Same beim Trocknen und beim Keimen das Volumen der Luft nicht ändert, und da das Sauerstoffgas, welches er verschwinden macht, sich in genau gleicher Menge in dem gebildeten kohlensauren Gase wiederfindet, so muss man zugeben, dass das atmosphärische Sauerstoffgas keinen directen Antheil an der Bildung dieses Wassers nimmt, oder mit anderen Worten, dass es sich nicht mit dem Wasserstoffgas des Gewächses vereinigt, um Wasser zu bilden; dies rührt vielmehr von der Substanz des Samens selbst her.

Der Same verliert also in der Gestalt von Wasser einen Theil seines Sauerstoff- und Wasserstoffgases, und dieser Verlust muss das Verhältniss der anderen Bestandtheile und besonders des Kohlenstoffs vergrössern. Ich fand in der That, dass 100 Gewichtstheile trockne Samen, welche in reinem Sauerstoffgas in einem geschlossenen Gefäss gekeimt haben, mehr Kohlenstoff enthielten als 100 Theile nicht gekeimte trockne Samen. Zieht man das Mittel aus mehreren Beobachtungen, so gaben 100 Pfund Erbsen bei der Verkohlung $17^3/_4$ Pfund Kohle, [21] während 100 Pfund von denselben getrockneten Samen, nachdem sie im Sauerstoffgas im geschlossenen Gefäss gekeimt hatten, 18 Pfund Kohle lieferten.

Dieser Verlust an Wasser und die sich daraus ergebende Zunahme an Kohlenstoff finden blos nach dem Tode der Pflanze statt. Keimt der Same in einer Sauerstoffgasatmosphäre in einem geschlossenen Gefäss, so verliert er kein vorher gebunden gewesenes Wasser, ebenso wenig bindet er Wasser, er verliert nur Kohlenstoff. Die directe Wirkung des Sauerstoffgases auf das todte*) und auf das keimende Samenkorn ist wesentlich dieselbe, sie beschränkt sich einzig darauf, in den beiden Fällen Kohlenstoff zu entfernen. Aber die Folgen sind verschieden: das todte Korn verliert zu Wasser verbundenes Sauerstoff- und Wasserstoffgas, und das keimende hält die Gase zurück.

*) Ich spreche hier nicht von den Wirkungen, welche in den letzten Stadien der Fäulniss statthaben; ich werde im Folgenden darauf zurückkommen.

§ 3.

Von dem Einfluss des Lichtes auf die Keimung.

Senebier ist der erste Naturforscher gewesen, welcher sich gezwungen sah zuzugeben, dass das Licht der Keimung schädlich ist. [22] Diese Ansicht ist durch die vergleichenden Untersuchungen, welche *Ingenhousz* im Schatten und in der Sonne angestellt hat, bestätigt worden, sie war es vielleicht schon durch den Gebrauch der Gärtner, die es vortheilhaft fanden, ihre Saaten vor der directen Wirkung der Sonnenstrahlen zu schützen.

Es bleibt zu entscheiden, ob die schädliche Wirkung dieses Gestirns seiner Wärme, welche die Pflanze zerstören könnte, oder dem Lichte an sich zuzuschreiben ist.

Man hat geglaubt, hier den Einfluss des Lichtes annehmen zu müssen, da die vergleichenden Untersuchungen im Dunkeln und im Sonnenlicht gemäss den Angaben des Thermometers bei gleicher Temperatur angestellt worden sind. Allein man muss bedenken, dass, wenn dies Instrument unter einem Recipienten in die die Samen umgebende Luft gebracht wird, es nicht die wirkliche Wärme, welche diese auf ihrer Oberfläche in Folge der Einwirkung der Sonnenstrahlen aufweisen, anzeigt. Diese Wärme wird so schnell durch die umgebenden Körper vertheilt, dass sie unseren Instrumenten entgeht. Sie steigt vielleicht, wie das *von Rumfordt* *) beobachtet hat, bis zur Glühhitze. Das Pflänzchen aber muss um so mehr davon berührt werden, als seine Organe auf einem kleinen Raume vereinigt sind, je weniger es transpirirt, und je weniger Kohlensäure es zersetzt.**) [23] Nun beweist aber das Experiment, dass die jungen Pflanzen um so weniger transpiriren, je weniger sie entwickelt sind; es beweist auch, dass die jungen Blätter bei gleichem Volumen weniger kohlensaures Gas zersetzen als die erwachsenen.

Ich versuchte, zu gleicher Zeit genau gewogene Samen unter zwei gleichen Recipienten, von denen der eine undurchsichtig, der andere vollkommen durchsichtig war, keimen zu lassen; unter diesem letzteren erhielten sie jedoch nur diffuses Sonnenlicht, wie es durch eine dichte Wolkenschicht zu uns gelangt. Die Temperatur war nach den Angaben eines sehr empfindlichen

---

*) Essais politiques, économiques et philosophiques, T. 2 p. 273.

**) Die Zersetzung des kohlensauren Gases muss Kälte hervorrufen, da ihre Bildung Wärme liefert.

Thermometers in beiden Versuchen vollkommen gleich. Einen Unterschied in der Zeit des Keimens der unter die Gefässe gestellten Samen nahm ich nicht wahr. Als ich den Versuch mit den gekeimten Samen fortsetzte, haben sie unter dem durchsichtigen Recipienten mehr an Gewicht zugenommen; ihr Wachsthum war kräftiger und weiter vorgerückt. [**24**] Die Plumula der im Dunkeln gehaltenen Samen war als Folge des Etiolements dünn und überverlängert. Aus diesen Versuchen glaube ich schliessen zu können, dass nichts dafür spricht, dass das Licht, wenn man von der Wärme, welche dasselbe begleitet, absieht, einen schädlichen Einfluss auf die Keimung und auf das Wachsthum der jungen Pflanzen ausübt.

*Lefebure**) bemerkt, dass die Sonne der Keimung nicht deshalb schadet, weil sie die Samen austrocknet; denn er beobachtete, dass die Keimung sich unter Wasser schneller im Dunkeln als im Sonnenschein vollzieht. Obgleich die Gründe, die ich für die Schwierigkeit, eine so hohe Wärme, wie sie die Oberfläche der in Luft der Sonne ausgesetzten Samen erlangen kann, zu schätzen, angegeben habe, sich hier geltend machen können, so sind sie doch nicht die einzige Ursache der von diesem Schriftsteller erhaltenen Ergebnisse. Die Vegetation unter Wasser kann vielleicht auch deshalb in der Sonne verzögert werden, weil die im Wasser vertheilte Luft, mit deren Hülfe die Keimung im Dunkeln statthaben kann, theilweise unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen entwichen ist.

---

*) Expériences sur la Germination des plantes, par *Lefebure*, p. 136.

[25] Zweites Kapitel.

Von dem Einfluss des kohlensauren Gases auf die Vegetation.

Ich würde vielleicht eine methodischere Anordnung befolgt haben, wenn ich den Einfluss des Sauerstoffgases auf die entwickelten Pflanzen behandelt hätte, vordem ich zur Prüfung der Wirkung des kohlensauren Gases, die nur secundär ist und nur unter Mitwirkung des Sauerstoffgases zur Geltung kommt, überging; aber die Kenntniss der Wirkungen des letzteren setzt einige vorläufige Angaben voraus, die mich nöthigen, die natürliche Ordnung umzukehren.

---

§ 1.

Von dem Einfluss des kohlensauren Gases auf die Keimung.

Die Samen keimen in reinem kohlensauren Gas nicht. Eine kleine Menge dieses Gases (etwa ein Zwölftel), welche der atmosphärischen Luft beigemischt das Vegetiren der entwickelten Pflanzen in der Sonne begünstigt [26], schadet der Keimung und verzögert sie im Licht wie im Schatten mehr als die gleiche Menge Wasserstoffgas oder Stickgas. Wenn man unter einen Recipienten, unter dem man Samen mit reinem Wasser und atmosphärischer Luft keimen lässt, Kali oder eine Substanz bringt, die fähig ist, das kohlensaure Gas zu absorbiren, welches die Samen mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft bilden, so wird ihre Entwicklung dadurch ein wenig beschleunigt. Es schien mir immer, als ob die Keimung sich eher im feuchten Sande oder zwischen zwei feuchten Schwämmen als im Humus abspielte, und als ob der letztere kohlensaures Gas liefere. Im Allgemeinen scheint dies Gas den Gewächsen nur so weit nützlich zu sein, als sie es zersetzen können; und die Samen scheinen im ersten Stadium ihrer Entwicklung diese Zersetzung in wahrnehmbarer Weise nicht ausführen zu können. Beachten wir jedoch, dass es unmöglich ist zu entscheiden, ob eine vollständige Abwesenheit ihnen schädlich oder nützlich ist, da die Samen beim Keimen eine zu grosse Menge kohlensauren Gases bilden, als dass man dieselbe ganz entfernen könnte.

[27] § 2.

Von dem Einfluss des kohlensauren Gases auf die entwickelten Pflanzen.

Wenn man frisch gekeimte Samen mit schwach mit kohlensaurem Gase geschwängertem Wasser ernährt, so scheint es

ihnen in dieser Periode weniger günstig zu sein als in späteren Abschnitten ihrer Entfaltung. Ich liess in zwei Bechern, von denen der eine mit destillirtem, der andere mit angesäuertem *) Wasser gefüllt war, zwei mit 24 Löchern versehene Platten schwimmen, die dazu bestimmt waren, ebenso viele in destillirtem Wasser gekeimte Erbsen aufzunehmen. Ihre Würzelchen hatten beim Beginne des Experiments eine Länge von 6 Millimetern (2½ Linien).

Nach Verlauf von 10 Tagen hatten sich die Wurzeln im destillirten Wasser um 1,3 Decimeter (5 Zoll) mehr verlängert als diejenigen in dem gashaltigen Wasser; [28] die Stengel und Blätter waren in demselben Verhältniss entwickelt. Aber nach Verlauf eines Monats, als die durch gashaltiges Wasser ernährten Pflanzen sich stärker entwickelt hatten, unterschieden sie sich nicht mehr von denjenigen, welche in reinem Wasser wuchsen, und welche einige Tage vorher das Maximum ihres Zuwachses erreicht hatten. Diese wurden sogar ihrerseits durch die ersteren übertroffen; denn die Erbsenpflanzen im gashaltigen Wasser hatten nach Verlauf von 6 Wochen eine Zunahme von 46,4 Gramm (12 Quentchen und 10 Gran) erfahren, während diejenigen, welche in reinem Wasser wuchsen, um 45,5 Gramm (11 Quentchen und 66 Gran) zugenommen hatten.**) Es ist wichtig zu beachten, dass *Senebier* gefunden hat, dass die jungen Blätter bei gleichem Volumen und in derselben Zeit weniger kohlensaures Gas zersetzen als die ausgewachsenen Blätter.

[29] In den soeben mitgetheilten Versuchen wuchsen die Stengel der Pflanzen in freier Luft und empfingen nur durch die Wurzeln das fremde kohlensaure Gas, welches ihnen im Wasser gelöst geboten wurde. Es bleibt mir jetzt noch übrig zu prüfen,

*) Dies Wasser enthielt im ersten Augenblick an kohlensaurem Gas ungefähr ein Viertel seines Volumens; als es jedoch in der Sonne der freien Luft ausgesetzt war, bewahrte es davon nur eine ausserordentlich viel geringere Menge während des ganzen Verlaufs des Versuches, der 6 Wochen gedauert hat; das gashaltige Wasser war während dieses Zeitraumes viermal erneuert worden.

**) *Ruckert* (*Crell's* Annalen) hat gefunden, dass in mit Gartenerde gefüllte Töpfe gepflanzte Bohnen und Veilchen besser gediehen, als sie mit Wasser, das ein Drittel seines Volumens an kohlensaurem Gas enthielt, als wenn sie mit destillirtem Wasser begossen wurden. Ich konnte keinen merklichen Unterschied wahrnehmen, als ich dasselbe Experiment mit Weizen anstellte; es ist möglich, dass meine Erde, welche reicher an Dünger war, den Pflanzen eine überflüssige Menge kohlensauren Gases lieferte.

ob dies Gas den Pflanzen nützlich ist, wenn es ihnen als Atmosphäre dient.

Percival (Mémoires de la Société de Manchester, vol. 2) hat beobachtet, dass eine mit Wasser ernährte und einem mit kohlensaurem Gas vermischten Luftstrome ausgesetzte Mentha besser gedieh als eine gleiche Pflanze, die einem Strome reiner atmosphärischer Luft ausgesetzt war.

Ich versuchte, diese erste Beobachtung zu bestätigen und die Menge kohlensauren Gases zu bestimmen, welche, der atmosphärischen Luft beigemischt, günstig auf die vegetirenden Pflanzen einwirkt.

Mit Hülfe von Wasser liess ich Erbsen keimen, bis jede Pflanze eine Höhe von ungefähr 1 Decimeter (4 Zoll) erreicht hatte und 1 Gramm (20 Gran) wog. Alsdann stellte ich für jeden Versuch 3 in ein Wasserglas, so dass die Wurzeln allein in diese Flüssigkeit eintauchten, und brachte sie zusammen mit verschiedenen Gemischen aus gewöhnlicher Luft und kohlensaurem Gas in Recipienten, welche durch Wasser abgesperrt waren, [**30**] das im Innern derselben mit einer Oelschicht bedeckt wurde, als die Recipienten mehr als die Hälfte ihres Volumens an kohlensaurem Gas enthielten. Drei Erbsenpflanzen hatten in jedem Experiment eine Atmosphäre von 990 Cubikcentimetern (50 Cubikzoll) und nahmen selbst nicht den vierhundertsten Theil ein. Sie wurden täglich während fünf oder sechs Stunden von den directen Sonnenstrahlen getroffen, welche bei zu grosser Intensität gedämpft wurden. Ich stellte zu gleicher Zeit und an dem nämlichen Ort gleiche Apparate auf und setzte sie schwachem und diffusem Licht aus. Dieser letzteren Aufstellungsart gebe ich die Bezeichnung Exposition im Schatten.

Ergebnisse in der Sonne.

Die mittlere Gewichtszunahme der während 10 Tagen der Sonne ausgesetzten Pflanzen betrug 425 Milligramm (8 Gran) für jede Erbse in der reinen atmosphärischen Luft.*) [**31**] Bei der

*) Diese Gewichtszunahme war zum grössten Theil oder vielleicht ganz der Zufuhr von flüssigem Wasser, das heisst von Vegetationswasser zu den Blättern, welche sich während des Experimentes entwickelten und ihre feste Substanz aus den noch dicken und an der Pflanze hängenden Cotyledonen schöpften, zuzuschreiben. Diese Cotyledonen enthielten drei- oder viermal weniger Vegetationswasser

nämlichen Exposition verwelkten diese Pflanzen, sobald sie mit reinem kohlensauren Gas in Berührung gekommen waren.

Dasselbe Schicksal erlitten sie in einer Atmosphäre, die drei Viertel oder zwei Drittel des Volumens an kohlensaurem Gas enthielt.

Sie wuchsen 7 Tage lang in einem Gefäss, das die Hälfte seines Volumens an kohlensaurem Gas enthielt; nach diesem Zeitpunkt hörten sie auf zu wachsen.

Die Pflanzen, deren Atmosphäre ein Viertel des Volumens an kohlensaurem Gas enthielten, hielten sich während der 10 für den Versuch bestimmten Tage, aber gediehen wenig. Jede Erbse nahm nur um 265 Milligramm (5 Gran) zu.

Bei einem Achtel an kohlensaurem Gas betrug die mittlere Zunahme 371 Milligramm (7 Gran).

Die mittlere Zunahme jeder Pflanze betrug in einer Atmosphäre von gewöhnlicher Luft, deren kohlensaures Gas den zwölften Theil ausmachte, 583 Milligramm (11 Gran). Ich habe diesen Versuch mehrmals wiederholt; und die Pflanzen gediehen beständig besser darin als in reiner atmosphärischer Luft. [**32**] Die in letzterer wachsenden Pflanzen veränderten sie weder an Reinheit noch an Volumen wahrnehmbar; diejenigen aber, welche in dem künstlichen Gemisch wuchsen, verwandelten fast alles kohlensaure Gas in Sauerstoffgas.

Ich stellte noch einen anderen Versuch an, welcher diesen bestätigt, und welcher direct beweist, dass der Humus den Gewächsen nützlich ist, nicht nur durch die Nahrung, welche sie mit ihren Wurzeln aus ihm schöpfen können, sondern auch durch den Einfluss, welchen er auf die Atmosphäre ausübt (einen Einfluss, welcher, wie man weiss, zum grossen Theil darin besteht, kohlensaures Gas zu bilden). In dem oberen Theil eines Recipienten, welcher ungefähr 3 Liter (150 Cubikzoll) atmosphärische Luft enthielt, hing ich 61 Gramm (2 Unzen) feuchten Humus auf. Mit diesem durch Wasser abgesperrten Recipienten habe ich theilweise entwickelte Erbsenpflanzen, deren Wurzeln während des Experimentes in reines Wasser tauchten, bedeckt. Nach Verlauf von 10 Tagen hatten diese Pflanzen, welche den Humus nicht berührten, in der Sonne eine um

als die Blätter, zu deren Entwicklung sie beitrugen. Ich werde anderswo auf diesen Gegenstand zurückkommen, da er zu demjenigen, mit welchen ich mich hier beschäftige, keine Beziehung hat.

ein Drittel so grosse Zunahme erfahren als gleiche Pflanzen, welche zu derselben Zeit ohne Humus unter einen dem vorhergehenden gleichen Recipienten gestellt worden waren. [**33**] Ich muss jedoch bemerken, dass ich in 24 Stunden die Luft der Recipienten zweimal erneuerte; denn ohne diese Vorsicht würden die Pflanzen, welche mit Humus wuchsen, weniger gediehen sein, sei es, weil derselbe zu viel Kohlensäure entwickelt, sei es vielmehr, weil der Humus Dämpfe oder Miasmen erzeugt, die in einer nicht erneuerten Luft und aus unbekannter Ursache dem Pflanzenleben ausserordentlich schädlich sind.

Ergebnisse im Schatten.

In den dem Schatten ausgesetzten Apparaten ist die geringste der gewöhnlichen Luft beigemischte Menge kohlensauren Gases den vegetirenden Pflanzen schädlich gewesen; nach dem sechsten Tage sind sie todt in einer Atmosphäre, welche ein Viertel des Volumens an kohlensaurem Gas enthielt. Sie hielten sich bei derselben Exposition 10 Tage lang in einer Atmosphäre, deren kohlensaures Gas den zwölften Theil ausmachte, aber ihre Gewichtszunahme betrug nur 159 Milligramm (3 Gran), während sie sich in der reinen atmosphärischen Luft auf 265 Milligramm (5 Gran) belief.

Wir haben soeben erkannt, dass das künstlich in sehr kleinen Mengen der Atmosphäre der Pflanzen beigemischte kohlensaure [**34**] Gas den vegetirenden Pflanzen in der Sonne nützlich ist, jedoch diese wohlthätige Wirkung nur ausübt, so lange die Atmosphäre freies Sauerstoffgas enthält. Daher sterben Pflanzen, welche in Stickgas lebensfähig bleiben können, in diesem Gase selbst in der Sonne, wenn man ihm die Menge kohlensauren Gases zufügt, welche ihre Entwicklung in atmosphärischer Luft begünstigt.

§ 3.

Die Verarbeitung von kohlensaurem Gas durch die Blätter ist zu ihrer Existenz in der Sonne nothwendig.

Die Experimente mit vegetirenden Erbsen in reiner atmosphärischer Luft, deren Einzelheiten ich mitgetheilt habe, lieferten dieselben Ergebnisse, als ich die Luft mit Kalkwasser wusch und sie so der kleinen Menge kohlensauren Gases, die

sie natürlich enthält, beraubte. Aber die Ergebnisse waren sehr abweichend, als ich in die Atmosphäre der Pflanzen eine zur Absorption der Kohlensäure, welche sie bilden helfen, geeignete Substanz brachte. Im oberen Theil der Recipienten, welche die Erbsen bedeckten, hing ich 7 oder 8 Gramm (2 oder 3 Quentchen) gelöschten und darauf bei der Wärme kochenden Wassers scharf getrockneten Kalk auf. [**35**] Die Oeffnungen dieser Recipienten habe ich auf Untertassen mit Kalkwasser ruhen lassen.

Seit dem zweiten Tage verminderte sich die Atmosphäre der Pflanzen, welche in diesem Apparat der Sonne ausgesetzt waren, an Volumen. Am dritten Tage fingen die unteren Blätter an, gelb zu werden; und zwischen dem fünften und sechsten Tage waren die Stengel todt oder entblättert. Die um diese Zeit geprüfte Atmosphäre der Pflanzen zeigte sich verdorben, sie enthielt nicht mehr als $\frac{16}{100}$ Sauerstoff. Die Erbsen, welche zu derselben Zeit ohne Kalk in mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten wuchsen, hatten dieselbe weder an Reinheit noch an Volumen verändert und waren in allen ihren Theilen gesund und kräftig. Aus dem Experiment mit dem Kalk erkennen wir, dass Absorption und folglich auch Bildung von kohlensaurem Gas stattgefunden hat. Wir erkennen ferner, dass die Gegenwart oder vielmehr die Bildung des kohlensauren Gases zum Vegetiren in der Sonne nöthig ist.*) [**36**] Man findet schliesslich, dass man nur deshalb die Bildung von kohlensaurem Gas durch die Pflanzen, welche ohne Kalk in gewöhnlicher Luft wachsen, nicht bemerkt, weil das kohlensaure Gas in dem Maasse, wie es durch das Sauerstoffgas der umgebenden Luft gebildet wird, von den Pflanzen wieder zersetzt wird.

---

*) Man könnte glauben, dass der Entzug desjenigen Theiles des atmosphärischen Sauerstoffgases, das durch das kohlensaure Gas im Kalk zurückbehalten wird, die Ursache des Aufhörens des Vegetirens gewesen sei; aber man muss bedenken, dass die entfalteten Erbsen sich im reinen Stickgas halten können. Kalk oder Kali machen ihren ganzen tödtenden Einfluss auf die Sumpfpflanzen geltend, welche ebenso gut im reinen Stickgas wie in der atmosphärischen Luft gedeihen.

Ich muss bemerken, dass ungelöschter Kalk oder Kali keine wahrnehmbare Wirkung auf die vegetirenden fleischigen Pflanzen ausüben, da deren sehr dichtes Parenchym und Epidermis, die weniger porös ist als bei anderen Pflanzen, hartnäckiger kohlensaures Gas zurückhalten; aus demselben Grunde werden bei diesen Versuchen die Stengel aller Pflanzen sehr viel weniger angegriffen als die Blätter.

Im Schatten erhielt ich ein abweichendes Ergebniss; nicht nur waren die Pflanzen nicht todt in dem Recipienten, welcher Kalk und Kalkwasser enthielt, sondern sie gediehen sogar besser als unter einem gleichen Recipienten, dem diese Substanzen fehlten.

Die mittlere Gewichtszunahme jeder mit Kalk wachsenden Pflanze betrug 371 Milligramm (7 Gran) in dem Zeitraum von 10 Tagen. Die Luft enthielt nach dem Versuch $\frac{3}{100}$ kohlensaures Gas. In der gewöhnlichen Luft ohne Kalk hingegen hatte jede Erbse nur 212 Milligramm (5 Gran) zugenommen. [**37**] Das Kalkwasser zeigte in dieser Atmosphäre $\frac{11}{100}$ kohlensaures Gas an.

Es ist ersichtlich, dass man aus diesen Ergebnissen nicht über die Wirkung des vollständigen Entzuges des kohlensauren Gases auf das Vegetiren im Dunkeln urtheilen kann, da in diesem Falle die Production von kohlensaurem Gas zu bedeutend ist, als dass der Kalk sich seiner gänzlich bemächtigen könnte in dem Maasse, wie es gebildet wird, wohl aber, dass die Wirkung eines partiellen Entzuges das Vegetiren begünstigt.

Aus demselben Grunde lässt der Kalk es nicht zu, dass die Blätter der Pflanzen, welche in der Sonne in einer Atmosphäre von reinem Sauerstoff wuchsen, abfallen. Man findet in dieser Atmosphäre eine überschüssige Menge kohlensauren Gases, welches die alkalische Erde nicht Zeit gefunden hat, ebenso schnell, wie es gebildet wurde, zu absorbiren.

Die vorstehenden Beobachtungen wurden nur an Pflanzen gemacht, welche in reinem Wasser wuchsen; und es ist wichtig, sich zu versichern, ob man dieselben Ergebnisse mit Pflanzen erzielen würde, welche im Erdreich wurzeln. Aber man kann die Erde nicht unter den Recipienten bringen, weil sie eine zu grosse Menge kohlensauren Gases bildet, als dass der Kalk, welcher nur in der Ferne wirken konnte, dasselbe vor seiner Verarbeitung durch das Gewächs aufnehmen kann.

[**38**] In einen Glasballon brachte ich 31 Gramm (1 Unze) von dem nämlichen Kalk, dessen ich mich zu den vorhergehenden Versuchen bedient habe. Ich befeuchtete ihn schwach, um jeden Zweifel über seine austrocknende Eigenschaft zu beseitigen. Darauf brachte ich in den Ballon von 4 Liter (200 Cubikzoll) Rauminhalt einen beblätterten Zweig*) eines Holzgewächses,

---

*) Die Pflanzen, mit denen ich diese Versuche anstellte, sind Gaisblatt (Lonicera caprifolium), Pflaume (Prunus domestica), Rainweide (Ligustrum vulgare) und Pfirsich (Amygdalus persica).

der dem Licht ausgesetzt war, und dessen Wurzeln sich in der Erde befanden; ich trug Sorge, dass die Blätter weder den Kalk noch die Wände des Ballons berührten, dessen Hals sorgfältig an dem Zweige angekittet war. Einen gleichen Apparat, aber ohne Kalk im Ballon, habe ich auf einen Zweig befestigt, der seitlich von dem vorhergehenden stand. Derselbe hat sein frisches Ansehen länger als zwei Monate bewahrt, derjenige, welcher über Kalk wuchs, verhielt sich jedoch nicht gleich; seine Blätter blieben vierzehn Tage lang grün; von da an fingen sie an trocken zu werden, und nach Verlauf von drei Wochen waren sie alle abgefallen. Der Zweig war nicht todt, denn einen Monat später hat er in dem Ballon, welcher nicht [**39**] losgekittet worden war, neue Blätter getrieben. Um diese Zeit hatte der Kalk jedoch keine Wirkung mehr auf die umgebende Luft; seine Oberfläche war mit Kohlensäure gesättigt. Ich nahm ihn heraus und fand, dass er mit Säuren aufbrauste.

Diese Neubildungen beweisen, dass der Blattfall nicht dem Entzug an Sauerstoffgas zuzuschreiben ist, der in dem Kalk durch das kohlensaure Gas zurückgehalten sein konnte, sondern der blossen Abwesenheit des letzteren. Wenn in diesen Versuchen die Wirkungen langsamer waren, als in den vorhergehenden, so rührt das zum Theil daher, dass die Pflanzen, welche im Boden wurzelten, nicht der Wirkung derjenigen Kohlensäure beraubt waren, welche sie aus der Erde durch die Wurzeln aufnahmen, sondern nur der äusseren Wirkung des Gases auf die Blätter.

§ 4.

Von der Zersetzung des kohlensauren Gases durch die grünen Theile der Gewächse.

Priestley hat zuerst erkannt, dass die Blätter die Eigenschaft besitzen, die verdorbene Luft durch die Verbrennung oder durch die Athmung zu verbessern, aber er ist nicht auf die Ursache dieser Erscheinung zurückgegangen. *Senebier* hat entdeckt, dass die Blätter [**40**] das kohlensaure Gas zersetzen, indem sie sich den Kohlenstoff aneignen und das Sauerstoffgas ausscheiden. Er beobachtete, dass die frischen der Sonne ausgesetzten Blätter in Quellwasser oder in Wasser, welches leicht mit kohlensaurem Gas geschwängert war, so lange Sauerstoffgas entwickelten, als kohlensaures Gas im Wasser vorhanden war. Er sah, dass die Blätter, als sie nach Erschöpfung des

Gases in destillirtem Wasser dem Licht ausgesetzt wurden, keine grössere Luftmenge entwickelten, als in ihrem Volumen enthalten gewesen sein konnte. Aber man hat die Producte der Zersetzung des kohlensauren Gases noch nicht analysirt, man hat nicht bestimmt, ob die Menge des ausgeschiedenen Sauerstoffgases grösser oder geringer oder gleich ist derjenigen, welche in die Zusammensetzung des kohlensauren Gases eingeht. Der Lösung dieser Frage sind die folgenden Experimente gewidmet. In Bezug auf sie werde ich auf langweilige und kleinliche Einzelheiten eingehen müssen, doch wären ohne dieselben die Ergebnisse fast nichtssagend.

1. Versuch.

Mit Immergrün (Vinca minor L.).

Ich habe aus kohlensaurem Gas und gewöhnlicher Luft, in der das Phosphoreudiometer $\frac{21}{100}$ Sauerstoffgas anzeigte, eine künstliche Atmosphäre hergestellt, welche 5,746 Liter (290 Cubikzoll) einnahm. [41] Kalkwasser zeigte in derselben $7\frac{1}{2}$ Hundertstel kohlensaures Gas an. Das Luftgemisch war eingeschlossen in einem Recipienten, der durch feuchtes Quecksilber, d. h. Quecksilber, welches mit einer sehr dünnen Wasserschicht bedeckt war, um die Berührung dieses Metalls mit der die Pflanzen umgebenden Luft zu verhindern, abgesperrt war; denn ich habe sicher festgestellt, dass diese Berührung, was bereits von den holländischen Chemikern mitgetheilt wurde, dem Leben der Pflanzen bei lange dauernden Versuchen schädlich ist.

In diesen Recipienten brachte ich 7 Immergrünpflanzen, von denen jede 2 Decimeter (8 Zoll) hoch war, sie nahmen zusammen einen Raum von 10 Cubikcentimetern ($\frac{1}{2}$ Cubikzoll) ein; ihre Wurzeln tauchten in ein besonderes Gefäss, welches 15 Cubikcentimeter ($\frac{3}{4}$ Cubikzoll) Wasser enthielt; die Menge dieser Flüssigkeit unter dem Recipienten war ungenügend, um eine merkliche Menge kohlensauren Gases zu absorbiren, besonders bei der Temperatur des Raumes, die niemals unter 17° Réaumur sank.

Dieser Apparat war sechs Tage hintereinander von 5 bis 11 Uhr Morgens den directen Sonnenstrahlen ausgesetzt, welche stets abgeschwächt wurden, wenn sie zu intensiv waren. Am siebenten Tage nahm ich die Pflanzen, welche nicht die geringste Veränderung erfahren hatten, heraus. [42] Unter Berücksichtigung aller Correcturen hatte sich das Volumen der Atmosphäre nicht

verändert, wenigstens soweit man darüber bei einem Recipienten von 1,3 Decimeter (5 Zoll) Durchmesser urtheilen kann, bei dem eine Differenz von 20 Cubikcentimetern (1 Cubikzoll) kaum zu schätzen ist; darüber hinaus aber kann der Fehler nicht gehen.

Das Kalkwasser hat kein kohlensaures Gas mehr angezeigt, während das Eudiometer $24\frac{1}{2}$ Hundertstel Sauerstoff aufwies. Ich stellte einen ähnlichen Apparat mit reiner atmosphärischer Luft und der gleichen Zahl Pflanzen bei derselben Exposition auf; die Luft hat sich weder an Reinheit noch an Volumen verändert.

Es ergiebt sich aus den hier angeführten eudiometrischen Beobachtungen, dass das Gemisch aus gewöhnlicher Luft und kohlensaurem Gas vor dem Versuch enthielt:

4199	Cubikcent.	oder	(211,92	Cubikzoll)	Stickgas
1116	-	-	(56,33	-)	Sauerstoffgas
431	-	-	(21,75	-)	kohlensaures Gas.
5746	-	-	(290,00	-)	

Dieselbe Luft enthielt nach dem Versuch:

4338	Cubikcent.	oder	(218,95	Cubikzoll)	Stickgas
1408	-	-	(71,05	-)	Sauerstoffgas
0	-	-	(0	-)	kohlensaures Gas.
5746	-				

[**43**] Das Immergrün hat also 431 Cubikcentimeter ($21\frac{3}{4}$ Cubikzoll) kohlensaures Gas verarbeitet oder verschwinden lassen; hätte es alles Sauerstoffgas wieder ausgeschieden, so würde es ein dem verschwundenen Volumen kohlensauren Gases gleiches Volumen gebildet haben; da es jedoch nur 292 Cubikcentimeter ($14\frac{3}{4}$ Cubikzoll) Sauerstoffgas entwickelt hat, so hat es demnach 139 Cubikcentimeter (7 Cubikzoll) Sauerstoffgas bei der Zersetzung des kohlensauren Gases assimilirt und 139 Cubikcentimeter (7 Cubikzoll) Stickgas gebildet.

Ein vergleichender Versuch hat mir gezeigt, dass die sieben Immergrünpflanzen, welche ich benutzt hatte, trocken vor der Zersetzung des kohlensauren Gases 2,707 Gramm (51 Gran) wogen, und dass sie bei der Verkohlung auf dem Feuer im geschlossenen Gefässe 528 Milligramm (9,95 Gran) Kohle lieferten. Die Pflanzen, welche kohlensaures Gas zersetzt hatten, gaben, als sie getrocknet und nach demselben Verfahren verkohlt wurden, 649 Milligramm (12,23 Gran) Kohle. Die Zersetzung des kohlen-

sauren Gases ergab also einen Gewinn von 120 Milligramm oder 2,28 Gran Kohle.

Ich liess gleichfalls Immergrünpflanzen, welche in von kohlensaurem Gas freier Luft gewachsen waren, verkohlen und fand, dass sich der Antheil an Kohle während des Aufenthaltes unter dem Recipienten vielmehr vermindert als vermehrt hatte.

[44] *II. Versuch.*

Mit der Wasserminze (Mentha aquatica L.).

Das Gemisch aus gewöhnlicher Luft und kohlensaurem Gas, welches zwei Minzepflanzen, von denen jede 3,5 Decimeter (13 Zoll) hoch war, und die zusammen 10 Cubikcentimeter ($\frac{1}{2}$ Cubikzoll) einnahmen, als Atmosphäre dienen sollte, betrug 6,5 Liter (328 Cubikzoll). Das Kalkwasser zeigte in demselben $7\frac{1}{4}$ Hundertstel kohlensaures Gas an. Vor der Addition desselben enthielt die gewöhnliche Luft $\frac{21}{100}$ Sauerstoffgas. Die Anordnung der Apparate war dieselbe wie bei dem vorhergehenden Versuch.

Nach Verlauf von zehn Tagen hatten die Pflanzen sich um einen Decimeter (4 Zoll) verlängert und lange Wurzeln getrieben, ohne dass sich das Volumen geändert hätte. Um diese Zeit zeigte das Kalkwasser in dem künstlichen Gemisch nur $2\frac{1}{2}$ Hundertstel kohlensaures Gas an. Nach seiner Entfernung enthielt die Atmosphäre $23\frac{1}{2}$ Hundertstel Sauerstoffgas.

[45] Gewöhnliche Luft ohne Beimischung, in welcher um dieselbe Zeit zwei Minzepflanzen wuchsen, hatte keine Veränderung erlitten, weder in ihrer Reinheit noch in ihrem Volumen.

Die Minzepflanzen verschlangen also im vorstehenden Versuche 309 Cubikcentimeter (15,6 Cubikzoll) kohlensaures Gas; davon schieden sie 224 Cubikcentimeter (11,26 Cubikzoll) Sauerstoffgas aus; 86 Cubikcentimeter (4,34 Cubikzoll) Sauerstoffgas behielten sie, als sie das kohlensaure Gas verarbeiteten, zurück; das absorbirte Sauerstoffgas ersetzten sie durch eine fast gleich grosse Menge Stickgas.

Aus der Verkohlung sah ich, dass diese Pflanzen ihre Kohlenstoffmenge bei dem Versuche vergrösserten, dass sich diese Zunahme aber nicht mehr bei denjenigen Pflanzen fand, welche unter einem mit reiner atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten vegetirten.

III. Versuch.

Mit Weiderich (Lythrum Salicaria).

Das Gemisch aus atmosphärischer Luft und kohlensaurem Gas, welches zu diesem Versuch dienen sollte, umfasste 1,486 Liter (75 Cubikzoll); Kalkwasser zeigte in demselben $\frac{10}{100}$ kohlensaures Gas an. Vor ihrer Beimischung enthielt die gewöhnliche Luft $\frac{21}{100}$ Sauerstoffgas. [46] Der Weiderich nahm einen Raum von 2,8 Cubikcentimeter ($\frac{1}{7}$ Cubikzoll) ein. Die Anordnung war dieselbe wie in den vorhergehenden Versuchen. Der Recipient, dessen ich mich hier bedienen konnte, hatte einen Durchmesser von 9 Centimetern (3,5 Zoll), und bei der Schätzung des Volumens konnte ich mich nicht um mehr als 5 Cubikcentimeter ($\frac{1}{4}$ Cubikzoll) täuschen.

Am Ende der sieben für diesen Versuch bestimmten Tage war noch nicht ein einziges Blatt des Weiderich gelb geworden. Die Atmosphäre hatte sich um 7 Cubikcentimeter ($\frac{1}{2}$ Cubikzoll) vermindert. Sie enthielt kein kohlensaures Gas mehr und das Eudiometer zeigte $27\frac{1}{4}$ Hundertstel Sauerstoffgas an.

Ein anderer Weiderich, welcher während derselben Zeit unter gleichen Umständen in atmosphärischer Luft vegetirte, hat dieselbe weder an Reinheit noch an Volumen verändert.

Nach den hier aufgeführten eudiometrischen Ergebnissen brachte die Pflanze, welche sich in dem künstlichen Gemisch aufhielt, 149 Cubikcentimeter ($7\frac{1}{2}$ Cubikzoll) kohlensaures Gas zum Verschwinden, davon hat sie 121 Cubikcentimeter (6,13 Cubikzoll) Sauerstoffgas ausgeschieden; sie hat also 27 Cubikcentimeter (1,37 Cubikzoll) Sauerstoffgas in Form von kohlensaurem Gas assimilirt und 21 Cubikcentimeter (1,1 Cubikzoll) Stickgas gebildet.

[47] *IV. Versuch.*

Mit der Kiefer (Pinus genevensis).

Das Gemisch aus gewöhnlicher Luft und kohlensaurem Gas nahm einen Raum von 5,549 Liter (280 Cubikzoll) ein; Kalkwasser zeigt in ihm $\frac{7}{100}$ kohlensaures Gas an. Während 18 Tagen beliess ich in dem Gemisch eine junge Kiefer von 2,4 Decimeter (9 Zoll) Höhe, welche 10 Cubikcentimeter ($\frac{1}{2}$ Cubikzoll) verdrängte. Nach dieser Zeit hatte sich die Atmosphäre um 39 Cubikcentimeter (2 Cubikzoll) vermindert, soweit ich darüber bei einem

Recipienten von 1,6 Decimeter (6 Zoll) Durchmesser urtheilen kann.

Die Eudiometer zeigten in demselben $1\frac{1}{2}$ Hundertstel kohlensaures Gas an und nach seiner Entfernung $24\frac{1}{2}$ Hundertstel Sauerstoffgas.

Eine andere Kiefer, welche während derselben Zeit unter einem mit reiner Luft gefüllten Recipienten vegetirte, hatte in demselben keine wahrnehmbare Veränderung hervorgerufen.

Die Pflanze brachte in dem künstlichen Gemisch 306 Cubikcentimeter ($15\frac{1}{2}$ Cubikzoll) kohlensaures Gas zum Verschwinden; [48] davon machte sie 246 Cubikcentimeter ($12\frac{1}{2}$ Cubikzoll) Sauerstoffgas frei; 60 Cubikcentimeter (3 Cubikzoll) Sauerstoffgas behielt sie bei der Zersetzung des kohlensauren Gases zurück und hat schliesslich 20 Cubikcentimeter (1 Cubikzoll) Stickgas gebildet.

V. Versuch.

Mit Opuntia (Cactus opuntia).

Das Gemisch aus gewöhnlicher Luft und kohlensaurem Gas betrug 3,012 Liter (155 Cubikzoll), Kalkwasser zeigte in demselben $\frac{10}{100}$ kohlensaures Gas an. Der Cactus verdrängte 22 Cubikcentimeter ($1\frac{1}{10}$ Cubikzoll); er befand sich während acht Tage unter dem Recipienten der directen Wirkung der Sonne in ihrer ganzen Intensität ausgesetzt. Für die anderen Pflanzen hatte ich die Wirkung gemildert, weil sie ohne diese Vorsicht gelitten haben würden. Aber diese Gefahr war hier nicht zu befürchten, und ohne starke Beleuchtung wäre die Zersetzung des kohlensauren Gases zu langsam vor sich gegangen.

Als ich die Pflanze herausnahm, hatte sich das Volumen ihrer Atmosphäre nicht sonderlich verändert; die Eudiometer zeigten in derselben $\frac{4}{100}$ kohlensaures Gas und nach seiner Entfernung $\frac{24}{100}$ Sauerstoffgas an. [49] Ein dem vorhergehenden gleicher Cactus, welcher während derselben Zeit in einem gleichen Volumen von reiner atmosphärischer Luft mit einem Sauerstoffgehalt von $\frac{21}{100}$ vegetirte, rief in derselben keine wahrnehmbare Veränderung hervor.

Die Pflanze brachte also in dem künstlichen Gemisch 184 Cubikcentimeter (9,3 Cubikzoll) kohlensaures Gas zum Verschwinden, davon schied sie 126 Cubikcentimeter (6,4 Cubikzoll) Sauerstoffgas aus; 57 Cubikcentimeter (2,9 Cubikzoll) Sauerstoffgas

assimilirte sie bei der Zersetzung des kohlensauren Gases und ersetzte das absorbirte Sauerstoffgas durch eine fast gleich grosse Menge Stickgas.

Aus allen diesen Versuchen geht hervor, dass die Pflanzen, indem sie das kohlensaure Gas zerlegen, einen Theil des in ihm enthaltenen Sauerstoffgases assimiliren.

§ 5.

Die in freier Luft mit reinem Wasser ernährten Pflanzen gewinnen Kohlenstoff aus der kleinen Menge kohlensauren Gases, welches natürlich in unserer Atmosphäre vorkommt.

Die vorstehenden Beobachtungen beweisen, dass die Pflanzen in geschlossenen Gefässen kohlensaures Gas zersetzen, [**50**] wenn es mit der atmosphärischen Luft in einem höheren Verhältniss gemischt ist, als es natürlich in ihr vorkommt.

Es ist jetzt der geeignete Augenblick nachzuforschen, ob sie diese Zersetzung auch in freier Luft bewirken, die kaum mehr als $\frac{1}{100}$ ihres Volumens an kohlensaurem Gas enthält. Der Bürger *Hassenfratz* hat in einer Abhandlung über die Ernährung der Gewächse (Annales de Chimie, vol. 13) die Ansicht zu begründen versucht, dass die Pflanzen, welche in reinem Wasser und freier Luft wachsen, ihr Volumen allein mit Hülfe des Wassers vergrössern, und dass sie nach ihrer Entwickelung an Kohlenstoff eine absolut geringere Menge enthalten als in ihren Samen. Ich stellte mehrere Versuche an, welche nur Ergebnisse geliefert haben, die denen dieses Verfassers gerade entgegengesetzt sind. Ich werde zwei Beispiele davon anführen.

1. Versuch. Ich liess die Wurzeln mehrerer Pfefferminzen (Mentha piperita) in mit destillirtem Wasser gefüllte Flaschen tauchen und diese Pflanzen in der Sonne vor Regen geschützt auf einem ausserhalb eines Fensters befindlichen Blumenbrette vegetiren. Als ich einige dieser Pflanzen zu gleicher Zeit und an demselben Orte ausriss und trocknete, [**51**] überzeugte ich mich davon*), dass 100 Gewichtstheile von ihnen, welche ich in destillirtem Wasser vegetiren lassen wollte, 40,29 Theile Trockensubstanz enthielten, von denen nach der Verkohlung**) 10,96 Theile Kohle übrig blieben.

*) Das alsolute Gewicht der im destillirten Wasser vegetirenden Pflanzen betrug 7,6 Gramm (3 Unzen).

**) Man vergleiche für das bei dieser Operation eingehaltene Verfahren die am Ende des Kapitels V eingeschaltete Bemerkung.

100 Gewichtstheile Pfefferminze wogen nach einer Vegetationsdauer von zwei und einem halben Monat in freier Luft grün 216 Theile; bis jetzt lehrt aber diese Gewichtszunahme nichts, da sie vielleicht der Vermehrung des Vegetationswassers zuzuschreiben ist, das bei den Pflanzen stets zunimmt, wenn sie an einen feuchteren Ort verpflanzt werden, als derjenige war, an welchem sie vorher wuchsen. Durch das Trocknen bei Lufttemperatur gingen sie auf 62 Gewichtstheile zurück. Die Pflanzen vergrösserten also mit Hülfe von Luft und Wasser ihre Trockensubstanz um 21,71 Theile. Diese 62 Theile lieferten bei der Verkohlung 15,78 Theile Kohle oder 4,82 Theile mehr, als sie geliefert haben würden, wenn sie nicht in destillirtem Wasser vegetirten. Als ich unter gleichen Verhältnissen **[52]** die nämlichen Pflanzen an einem schwach erleuchteten Ort vegetiren liess, fand ich, dass sie eine kleine Menge ihres Kohlenstoffes verloren hatten. Vielleicht ist die Abwesenheit von Licht die Ursache der von *Hassenfratz* erhaltenen Ergebnisse gewesen.

2. *Versuch.* Ich that vier Bohnen, welche 6,368 Gramm (120 Gran) wogen, zwischen Kieselsteine in Glaskapseln und begoss sie mit destillirtem Wasser. Am Ende einer Vegetationszeit von 3 Monaten in der Sonne unter freiem Himmel wogen die Bohnenpflanzen unmittelbar nach der Blüthe grün 87,149 Gramm (1642 Gran). Durch das Trocknen sank das Gewicht auf 10,721 Gramm (202 Gran) herab; während ihres Vegetirens in freier Luft verdoppelten die Bohnen fast die Menge ihrer Trockensubstanz. Bei der Verkohlung im geschlossenem Gefäss lieferten diese Pflanzen 2,703 Gramm (51 Gran) Kohle; nun geben aber 4 Bohnen von dem nämlichen Gewicht wie diejenigen, welche zum Versuch gedient hatten, 1,209 Gramm ($22\frac{3}{4}$ Gran) Kohle. Die Bohnen hatten also um mehr als das Doppelte an Kohlenstoff zugenommen, als sie sich mit Hülfe von Wasser in freier Luft entfalteten; **[53]** es kann nicht daran gezweifelt werden, dass sie dies nur durch die Zersetzung des kohlensauren Gases, welches sie in ihrer Atmosphäre fanden, bewirkten; denn wie wir in dem vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, vermehren die Pflanzen, welche unter mit reiner aber nicht erneuerter atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten vegetiren, ihren Kohlenstoff nicht.

Weitere Bemerkungen über die Zersetzung des kohlensauren Gases durch die Gewächse.

*Ingenhousz**) beobachtete, dass die grünen Pflanzen, denen er im Dunkeln künstlich Wärme mittheilte, welche dem Anscheine nach derjenigen gleichkam, welche gleichartige Pflanzen von der Sonne empfingen, unreine Luft lieferten, während die der Sonne ausgesetzten die gegentheilige Wirkung hervorriefen. Er schloss daraus, dass die Bildung von Sauerstoffgas im letzteren Falle allein dem Lichte an sich und nicht der sie begleitenden Wärme zugeschrieben werden müsse. Aber diese Schlussfolgerung kann voreilig sein, weil die das Licht begleitende und die dunkle Wärme in sehr verschiedener Weise in diesen Versuchen wirken.

[**54**] Die Wärme der leuchtenden Strahlen erwärmt das Gewächs nur auf Grund seiner Undurchsichtigkeit und erwärmt fast gar nicht das umgebende Medium, da es durchsichtig ist; dies entzieht der Pflanze einen Theil der Wärme, welche die Sonne ihr mittheilt, und mässigt eine Wirkung, die an sich im Stande wäre, die Pflanze zu zerstören.

Die dunkle Wärme erwärmt das durchsichtige Fluidum und die Pflanze auf den gleichen Grad. Hierdurch leidet diese, da sie durch das umgebende Medium nicht mehr von der ihr mitgetheilten Wärme befreit werden kann.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Pflanzen in der atmosphärischen Luft ohne Dazwischenkunft des Lichtes einen Theil des kohlensauren Gases, welches sie selbst mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft bilden, zersetzen. Aber diese Wirkung kann nicht direct gezeigt werden. Ich sah Sumpfpflanzen, wie Polygonum persicaria und Lythrum salicaria in einer Stickgasatmosphäre bei schwachem und diffusem Licht Sauerstoffgas entwickeln; in vollständiger Dunkelheit brachten sie diese Wirkung niemals hervor. [**55**] Indessen kann man auf Grund der folgenden Beobachtungen vermuthen, dass die Pflanzen dort kohlensaures Gas zersetzen. In tiefster Dunkelheit liess ich unter zwei gleichen mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten Pflanzen von Erbse, Weiderich und Inula wachsen. Täglich

*) Exp. sur les végétaux, vol. I, p. 36, et vol. 2, p. 167.

erneuerte ich diese Pflanzen, damit sie nicht leiden möchten. Diese Versuche wurden auf doppelte Weise angestellt. Der eine Recipient enthielt ungelöschten Kalk oder Kali, dem andern fehlte es. Nach vier oder fünf Tagen war die Atmosphäre verdorben. Aber ich fand constant, dass die mit Kalk oder Kali versehenen Recipienten weniger Sauerstoffgas enthielten als diejenigen, denen das Alkali fehlte; und dies rührt daher, wie leicht einzusehen, dass diese Pflanzen weniger kohlensaures Gas zum Zersetzen in den Recipienten fanden, die frei von Kalk oder Alkali waren.

Eine andere Erscheinung scheint die Zersetzung des kohlensauren Gases auch in der Dunkelheit anzuzeigen, nämlich die schwach grüne Färbung, welche etiolirte Blätter bei der Entfaltung annehmen. Diese Farbe ist nach *Senebier* das Ergebniss der Zersetzung des kohlensauren Gases. Da aber diese Anzeichen nur sehr gering und indirect sind, so werden wir im Allgemeinen nicht zugeben [**56**], dass die Zersetzung des kohlensauren Gases anders als im Licht stattfinden könne.

Senebier hat erkannt, dass die nichtgrünen Theile, wie das Holz, die Wurzeln, die meisten Kronblätter, die weissen Stellen gefleckter Laubblätter und die durch eine Aenderung ihrer Säfte im Herbst vollständig roth oder gelb gewordenen Blätter kein Sauerstoffgas ausscheiden. Indessen darf man nicht daraus folgern, dass die grüne Farbe ein wesentliches Merkmal für die kohlensaures Gas zersetzenden Theile sei, noch ein nothwendiges Ergebniss dieser Zersetzung; denn die Varietät von Atriplex hortensis, bei der alle grünen Theile durch rothe oder tiefpurpurfarbene Theile ersetzt sind, lieferte mir unter Quellwasser in einem Zeitraum von fünf bis sechs Stunden das Sieben- bis Achtfache seines Volumens an Sauerstoffgas, das nur 0,15 seines Volumens an Stickgas enthielt. Die mit grünen Blättern versehene Varietät derselben Pflanze lieferte mir keinen reineren Sauerstoff noch reichlichere Mengen desselben.

Nicht alle Arten Blätter besitzen in demselben Grade die Eigenschaft, kohlensaures Gas zu zersetzen. [**57**] Lythrum salicaria hat in mehreren Versuchen bis zum Sieben- oder Achtfachen seines Volumens in einem Tage davon zersetzt. Opuntia und andere fleischige Pflanzen konnten nur den fünften oder

zehnten Theil dieser Menge zerlegen. Ohne alle Ursachen dieser Differenzen aufdecken zu wollen, bemerke ich nur, dass die grünen Theile kohlensaures Gas im Verhältniss ihrer Oberfläche, aber fast niemals im Verhältniss ihres Volumens zersetzen. Sehr dünne, zerschlitzte und fadenförmige Blätter zersetzen unter gleichen Umständen am meisten kohlensaures Gas. Fleischige Pflanzen, Stengel und Früchte, welche wenig Oberfläche darbieten, zersetzen bei gleichem Volumen viel weniger.

Indem die Blätter Sauerstoffgas aushauchen, entwickeln sie immer Stickgas; sie bilden dasselbe in merklicher Menge nur im Lichte und fast im Verhältniss des kohlensauren Gases, welches sie zersetzen. Die Blätter, welche am längsten ohne zu leiden eine sehr feuchte Atmosphäre ertragen können, entwickeln das reinste Sauerstoffgas; hierher gehören die Sumpfpflanzen. [**58**] Welches Gewächs man auch immer zu diesen unnatürlichen Versuchen bestimmt, im Anfange des Versuchs ist das entwickelte Sauerstoffgas stets weniger verdorben als am Ende. Diese Beobachtungen zeigen, dass das Stickgas aus der Substanz der Pflanze selbst stammt. Ich würde geneigt sein zu glauben, dass dies Gas, welches zum reinen Sauerstoffgas Verwandtschaft besitzt, durch ihn in um so grösserer Menge in das Innere der Blätter geführt wird, je matter die Pflanze vegetirt. Man begreift, warum die Blätter viel weniger Stickgas in atmosphärischer Luft entwickeln, der man kein kohlensaures Gas beigemischt hat; denn sie treten mit dem reinen Sauerstoffgas weniger in Berührung; das Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft ist mit Stickgas, welches sich natürlich in ihr findet, gesättigt.

Rückblick.

Das in verschiedenen Verhältnissen der atmosphärischen Luft zugefügte kohlensaure Gas begünstigt die vegetirende Pflanze aber nur soweit, als diese eine Zersetzung des kohlensauren Gases bewirken kann. Sie schadet in demselben Verhältniss der Keimung, wie sie den entwickelten Pflanzen nützlich ist; sie begünstigt in der Sonne das Vegetiren der letzteren und wird ihnen im Finstern schädlich.

[**59**] Die Gegenwart oder vielmehr die Verarbeitung des kohlensauren Gases ist für die Lebensthätigkeit der grünen Theile in der Sonne unerlässlich; sie sterben ab, wenn man ihnen bei

dieser Exposition das kohlensaure Gas entzieht, welches sie mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft bilden.

Die grünen Pflanzen, welche in destillirtem Wasser und freier Luft wachsen, gewinnen eine grosse Menge Kohlenstoff.

Die Pflanzen assimiliren, indem sie das kohlensaure Gas zersetzen, einen Theil des in ihm enthalten gewesenen Sauerstoffgases.

---

[60] Drittes Kapitel.

Von dem Einfluss des Sauerstoffgases auf die entwickelten Pflanzen.

§ 1.

Ueber die Veränderungen, welche das Sauerstoffgas durch seine Berührung mit den Blättern erleidet.

Wenn ich im 6. Kapitel von der Vegetation grüner Pflanzen in Medien, die man vorher des Sauerstoffgases beraubt hat, handle, so werde ich zeigen, dass sie sich dort nur entwickeln, weil sie dies Gas verbreiten. Gegenwärtig sollen die chemischen Ergebnisse seiner Wirkung auf die grünen krautigen Theile den Gegenstand meiner Untersuchung ausmachen.

Gesunde Blätter, welche nach einem heiteren Sommertage gesammelt und für eine einzige Nacht unter einen mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten gestellt worden waren, riefen im Sauerstoffgas der sie umgebenden Luft Veränderungen hervor, die scheinbar nach der Natur des Gewächses verschieden sind.

[61] 1. Die Blätter der Eiche (Quercus robur), der Rosskastanie, der unechten Akazie, von Sedum reflexum und der meisten übrigen Gewächse verkleinern das Volumen ihrer Atmosphäre. Das Sauerstoffgas verschwindet, und es bildet sich ein Volumen freies kohlensaures Gas, das geringer ist als das während des Versuches aufgezehrte Volumen Sauerstoffgas.

2. Die Blätter oder grünen Theile von Cactus opuntia, Crassula cotyledon, Sempervivum tectorum, Agave americana und Stapelia variegata vermindern das Volumen ihrer Atmosphäre, indem sie Sauerstoffgas absorbiren, ohne dass in wahrnehmbarer Menge kohlensaures Gas gebildet wird. In diesem wie im vorhergehenden Falle kann man auf den ersten Blick vermuthen,

dass die Volumenverminderung der Atmosphäre der Assimilation des Sauerstoffgases durch das Gewächs zuzuschreiben ist.

Um eine Condensation in der die Blätter im Dunkeln umgebenden Luft beobachten zu können, müssen sie stets vollkommen gesund sein und einen Raum zwischen ein Sechstel bis ein Zwanzigstel des Luftvolumens, in dem sie eingeschlossen sind, einnehmen; wenn sie einen geringeren Raum einnehmen, so dürften die Wirkungen zuweilen nicht wahrnehmbar sein; (**62**) wenn sie einen grösseren Raum einnehmen würden, so würden sie sich in einem zu stark sauerstoffgasfreien Medium befinden, als dass sie nicht darunter leiden müssten. Sie müssen ferner unmittelbar zum Versuch verwendet werden, nachdem sie bei Sonnenuntergang gepflückt worden sind, und dürfen sich nicht länger als zwölf Stunden unter dem Recipienten aufhalten. Da meine Pflanzen in allen diesen Versuchen nicht welkten, so kann ich nicht annehmen, dass eine Veränderung derselben meine Ergebnisse beeinflusst hat. Ich darf es nicht einmal annehmen, besonders in dem Falle nicht, wo sich kein kohlensaures Gas gebildet hat; denn alle Blätter, welche welken, bilden eine bestimmte Menge kohlensaures Gas.

Man kann die Frage aufwerfen, ob das Sauerstoffgas, welches die gesunden Blätter während der Nacht absorbiren, thatsächlich von ihnen assimilirt wird, um ihre Substanz, im getrockneten Zustande betrachtet, zu vermehren, denn man beobachtet, dass die Blätter fast die gleiche Menge wieder von sich geben, wenn man diejenigen, welche Sauerstoff absorbirt haben, der Sonne aussetzt; man sieht, dass sie, da ihre Lebenskraft gross genug ist, um mehrere Tage hinter einander unter dem nämlichen Recipienten gesund zu bleiben, jede Nacht ihre Atmosphäre verkleinern, um sie jeden Tag beinahe in demselben Maasse zu vergrössern.

[**63**] Ich belege diese mit einander abwechselnden Vorgänge mit den Namen Ausathmung und Einathmung; vielleicht sind diese Ausdrücke ungeeignet, weil sie in den Pflanzenorganen ein Zusammenziehen und Ausdehnen voraussetzen, welches die Beobachtung bis jetzt nicht hat feststellen können. Ich lasse diese Bezeichnungen nur zu, weil die Aufnahme und Ausgabe von Gas durch die Gewächse nach der letzten Analyse in mancher Beziehung Ergebnisse liefern analog denen bei der Respiration der Thiere, wenn auch die Erscheinungen und Mittel sehr verschieden sind. Prüft man als Anatom die Gewächse und die Thiere, so irrt man, sie mit einander zu vergleichen; wenn

man aber nur ihre grossen physiologischen Züge, wie die Ernährung, die Absonderungen, die Reproduction, den Einfluss des Sauerstoffgases oder der Athmung auf ihre Existenz betrachtet, ohne Rücksicht darauf zu nehmen, durch welche Mittel diese Functionen zur Geltung kommen, so muss man zwischen diesen Wesen eine auffallende Uebereinstimmung zugeben.

Bei den Gegenständen, welche eines strengen Beweises nicht fähig sind, ist eine genaue Auseinandersetzung der Beobachtungen lehrreicher als allgemeine Schlüsse, die oft des Beobachters Art zu sehen untergeordnet sind. Aus diesem Grunde werde ich meine Untersuchungen mit Cactus opuntia ausführlich darlegen. [**64**] Ihre Ergebnisse können mit geringen Abänderunger die leicht zu begreifen sind, auf die Blätter anderer Pflanzen und selbst auf alle grünen krautartigen Theile ausgedehnt werden, Aber sie besitzen nicht alle eine genügend grosse Lebenskraft; um die nämlichen Untersuchungen aushalten zu können.

§ 2.

A. Ueber die Einathmung von Cactus opuntia.

Nach Sonnenuntergang hing ich Zweige oder Blätter von Cactus, die 129 Cubikcentimeter (6 Cubikzoll) einnahmen, in einem 951 Cubikcentimeter (48 Cubikzoll) atmosphärische ihres kohlensauren Gases beraubte Luft fassenden Recipienten auf. In diesem Gefäss war kein Wasser*) vorhanden, und es war durch Quecksilber verschlossen.

Am folgenden Morgen fand ich bei Sonnenaufgang unter Berücksichtigung der auf Temperatur- und Druckveränderungen

---

*) Ich führe hier ein Beispiel an von der wunderbaren Lebenskraft dieser Pflanze. Ein Cactuszweig, welcher während drei Wochen zu ähnlichen Versuchen, wie ich sie soeben mitgetheilt habe, theils in der Sonne, theils im Schatten gedient hatte, war für 14 Monate ohne Wasser und ohne Erde in einem Schrank ins Dunkle gestellt worden; er ertrug dort während des Winters eine Kälte von 8 Grad unter 0° R. und während des Sommers eine Wärme von + 22°; nach dieser Zeit war er runzlig und dünn geworden durch den Verlust der Hälfte seines Vegetationswassers; aber er trieb Stengel und Wurzel auf der ganzen Oberfläche, keiner seiner Theile hatte seine Lebenskraft verloren. Als er herausgenommen wurde, bildete er in destillirtem Wasser in der Sonne den dritten Theil seines Volumens an Luft, die $\frac{34}{100}$ Sauerstoffgas und $\frac{66}{100}$ Stickgas enthielt; und als ich ihn in die Erde pflanzte, schwoll seine Substanz wieder an, erlangte er die früheren Dimensionen wieder und fuhr fort, neue Schüsse zu treiben.

bezüglichen Correcturen, dass sich die Atmosphäre der Pflanze um 79 Cubikcentimeter (4 Cubikzoll) verringert hatte. Ich prüfte darauf diese Luft, sie enthielt nur $\frac{14}{100}$ Sauerstoffgas, während sie vor dem Hineinbringen des Cactus $\frac{21}{100}$ enthalten hatte; Kalkwasser zeigte in der restirenden Luft nicht ein Atom kohlensaures Gas an. Weiter kann ich mittheilen, dass sich, als ich unter den Recipienten während einer Nacht neben den Cactus Kalkwasser gestellt hatte, nicht einmal kohlensaurer Kalk gebildet hatte. Aus den angegebenen eudiometrischen Beobachtungen geht hervor, dass die Atmosphäre des Gewächses nahezu enthielt:

vor der Einathmung	198	Cubikcent.	(10	Cubikzoll)	Sauerstoffgas
nach - -	119	-	(6	-)	-
	79		(4	-)	-

[66] Die Volumenverminderung der Atmosphäre während der Nacht ist also ganz genau gleich gewesen der Verminderung an Sauerstoffgas. Die Pflanze nahm also nicht merklich Stickgas auf, sondern nur eine Menge Sauerstoffgas gleich drei Viertel ihres Volumens. Nicht alle Cactus athmen so grosse Mengen ein, oft belaufen sich dieselben nur auf die Hälfte des Volumens des Gewächses. Diese Unterschiede hängen nicht nur vom Zustande der Pflanze ab, welche um so mehr absorbirt, je kräftiger sie ist, sondern auch von der Temperatur, bei welcher der Versuch angestellt wird. Die Einathmung ist in einem gegebenen Zeitraume bei einer Temperatur von 20 bis 25 Grad Réaumur grösser als bei einer solchen von 10 bis 15 Grad.

Wenn man über den Zeitraum einer Nacht hinaus den Aufenthalt dieser Pflanzen im Dunkeln verlängert, so fahren sie fort, freilich immer langsamer, Sauerstoffgas aufzunehmen, bis sie ungefähr das Fünfviertelfache ihres eigenen Volumens enthalten. Nach diesem Zeitpunkt, welcher nach Verlauf von 36 oder 40 Stunden eintritt, vermindern sie weder, noch vermehren sie das Volumen ihrer Atmosphäre, wie viel freies Sauerstoffgas auch immer übrig, welches auch immer die Capacität des Recipienten und die Dauer des Versuches sein mag, selbst wenn man ihn während eines Monats oder bis zum Tode der Pflanze fortsetzt.

[67] *B.* Die mit Sauerstoffgas gesättigten Blätter bilden im Dunkeln kohlensaures Gas.

Der durch die Einathmung mit Sauerstoffgas gesättigte Cactus ist indessen nicht ohne Einwirkung auf das Sauerstoffgas der

umgebenden Luft; er fängt an, wenn er auf dem Punkt ist, nicht mehr aufnehmen zu können, ohne die geringste Veränderung zu erleiden, freies kohlensaures Gas aus seinem eigenen Kohlenstoff und dem umgebenden Sauerstoffgas zu bilden, eine Verbindung, welche, wie ich mehrmals beobachtet habe, das Volumen der Atmosphäre nicht verändert. Es muss bemerkt werden, dass die so gesättigten Blätter in einem gegebenen Zeitraum durch die Bildung von kohlensaurem Gas ungefähr um die Hälfte weniger Sauerstoffgas verbrauchen, als sie für die Einathmung verbraucht hatten.

Die meisten Blätter und besonders diejenigen, welche nicht dick sind, bilden freies kohlensaures Gas zu derselben Zeit, wo sie Sauerstoffgas einathmen. Sie athmen oft weniger ein, aber niemals mehr als der Cactus.

C. Der Cactus, welcher Sauerstoffgas eingeathmet hat, kann dasselbe nicht in das Vacuum der Luftpumpe aushauchen.

Das von dem Cactus oder von irgend einem anderen Blatte eingeathmete Sauerstoffgas wird in demselben durch eine zu grosse Anziehungskraft zurückgehalten, [68] als dass die Beseitigung des Luftdruckes dasselbe in merklicher Menge entbinden könnte*); 6 Cubikzoll Cactus, welche in einer Nacht 4 Cubikzoll Sauerstoffgass eingeathmet hatten, konnten in einer kleinen Menge Wasser in der Dunkelheit im Vacuum nur einen Cubikzoll Luft ausathmen, die $\frac{15}{100}$ Sauerstoffgas und $\frac{85}{100}$ Stickgas und kein oder $\frac{1}{100}$ kohlensaures Gas enthielt. Vor der Einathmung hatte die Pflanze Tags zuvor bei diesem Verfahren dieselbe Menge Luft geliefert, aber sie bestand aus $\frac{19}{100}$ Sauerstoffgas und $\frac{81}{100}$ Stickgas.

Der geringe Reinheitsunterschied, den man zwischen den beiden extrahirten Luftmengen vor und nach der Einathmung bemerkt, spricht dafür, dass die in den Blättern enthaltene Luft stets in Beziehung steht zu dem Reinheitsgrad der sie umgebenden Atmosphäre. Als die Luft des Gefässes, in welchem sich die Pflanze im Dunkeln aufgehalten hatte, durch die Einathmung verdorben worden war, war es auch die in der Pflanze enthaltene

*) Durch dies Verfahren gewann ich aus grünen Früchten wie Birnen und Aepfeln selbst vor ihrer Reife eine Luft, welche eine grosse Menge kohlensaures Gas enthielt, aber die Blätter lieferten mir niemals eine ansehnliche Menge, wenigstens wenn sie sich nicht in sauerstoffgasfreien Medien aufgehalten hatten.

Luft. Es ist sehr wahrscheinlich, dass man durch die Luftpumpe kaum andere als freie in den Gewächsen vorhandene Luft erhält. [69] Zu allen Stunden und bei allen Expositionen fand ich sie weniger rein als die atmosphärische Luft. Wenn der Cactus vollständig mit Sauerstoffgas gesättigt ist, so entzieht man ihm mit Hülfe des Vacuums eine Luft, welche zwei oder drei Hundertstel kohlensaures Gas enthält, das noch nicht dem fünfzigsten Theile des von der Pflanze eingeathmeten Sauerstoffgases entspricht.

Dunkle Wärme, welche gemässigt genug ist, um das Gewächs nicht zu zerstören, hatte nicht mehr Einfluss als das Vacuum, um das eingeathmete Sauerstoffgas zu entbinden. Sechs Cubikzoll Cactus, welche vier Cubikzoll Sauerstoffgas bei der Temperatur von 15 Grad Réaumur eingeathmet hatten, vermochten im Dunkeln kein Gas auszuathmen unter mit Luft erfüllten Recipienten, die theilweise auf 30, theilweise auf 35 Grad erwärmt wurden. In diesen beiden Fällen verband sich nur ihr Kohlenstoff mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft, ohne dass das Volumen ihrer Atmosphäre sich änderte. Sie sind bei 40 Grad gelb, und die Resultate wurden dadurch bedeutungslos. Als ich mit Sauerstoffgas gesättigte Blätter unter auf vorstehende Temperaturen erwärmtes Wasser in den Schatten brachte, entwickelten sie eine Luftmenge gleich dem sechsten Theile ihres Volumens. [70] Diese Luft enthielt $\frac{89}{100}$ Stickgas und $\frac{11}{100}$ kohlensaures Gas.

D. Blätter athmen in luftförmigen, des freien Sauerstoffgases beraubten Medien nicht merklich ein.

Der bei Sonnenuntergang gepflückte und für eine Nacht in Stickgas oder Wasserstoffgas oder reines kohlensaures Gas gebrachte Cactus (oder jedes beliebige Blatt) vermindert nicht das Volumen seiner Atmosphäre, sondern dehnt es im Gegentheil aus, indem er kohlensaures Gas hinzufügt. Diese Zunahme, um so geringer je kräftiger die Pflanze ist, ist in der Regel während einer Nacht gleich einem Drittel oder Viertel des Cactus-Volumens. Es ist indess nicht zweifelhaft, dass diese Luftarten nur in sehr geringer Menge in das Innere des Gewächses eindringen; denn als ich die Cactus, welche die Nacht in reinem Wasserstoffgas zugebracht hatten, der Wirkung der Luftpumpe aussetzte, lieferten sie eine Menge eines luftförmigen Fluidums gleich einem Sechstel ihres Volumens. Diese Luft bestand aus 40 Theilen

Wasserstoffgas, 40 Theilen Stickgas und 20 Theilen kohlensaurem Gas.

[71] Der bei Sonnenuntergang gepflückte und für eine Nacht in Wasserstoffgas gestellte Cactus athmete nicht merklich, wie ich gesagt habe, ein; aber als er aus dieser Atmosphäre herausgenommen wurde, um ins Dunkle in einen mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten gebracht zu werden, athmete er sein Volumen an Sauerstoffgas ein oder fast genau dieselbe Menge, als wenn er sich niemals im Wasserstoffgas aufgehalten hätte.

Wenn man in diesem Versuche das Wasserstoffgas durch kohlensaures Gas ersetzt, beginnt die Pflanze von dem Augenblick an, wo sie ins Dunkle in einen mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten gebracht wird, ihre Atmosphäre zu vergrössern, indem sie in derselben eine kleine Menge kohlensaures Gas ungefähr gleich dem sechsten Theil ihres Volumens verbreitet. Darauf athmet sie fast ebenso viel Sauerstoffgas ein, als die vorhergehende Ausscheidung betragen hatte. Alsdann verändert der Cactus das Volumen seiner Atmosphäre nicht mehr; er verändert dieselbe nur, indem sich sein Kohlenstoff mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft verbindet. Diese Pflanze kann sich zwei oder drei Tage, ohne zu sterben, in reinem kohlensaurem Gas aufhalten.

[72] *E.* **Der Cactus athmet das kohlensaure Gas in demselben Verhältniss wie das Sauerstoffgas ein, wenn das erstere ihm in kleiner Menge beigemischt ist.**

Die Untersuchungen, welche ich unter *A* über die Einathmung des Sauerstoffgases mitgetheilt habe, wurden in einer vorher des kohlensauren Gases beraubten Luft angestellt, und man könnte fragen, ob jenes nicht hinsichtlich der Aufnahme von den Blättern in natürlicher atmosphärischer Luft vor dem Sauerstoffgas bevorzugt wird. In Folge dessen stellte ich einen Cactus unter einen mit gewöhnlicher Luft, der ich kohlensaures Gas hinzugefügt hatte, gefüllten Recipienten und fand, dass das kohlensaure Gas und das Sauerstoffgas in demselben Verhältniss aufgenommen werden. Nur ging die Einathmung schneller von statten, als wenn die Luft kein kohlensaures Gas enthalten hätte. Das Folgende gibt einen dieser Versuche in den Einzelheiten wieder: 153,6 Cubikcentimeter ($7\frac{3}{4}$ Cubikzoll) Cactus wurden Nachmittags in $43\frac{1}{2}$ Cubikzoll durch Quecksilber abgesperrte Luft gebracht. Diese Luft, welche ich gleich 100 Theile setze, enthielt

74 Theile Stickgas, 19 Theile Sauerstoffgas und 7 Theile kohlensaures Gas. Nach einem Aufenthalt von 12 Stunden im Dunkeln war das Luftvolumen auf 81 Theile gesunken. Die Blätter hatten also das $1\frac{1}{4}$fache ihres Volumens eingeathmet. [73] Aus der Analyse der übrig gebliebenen Luft ersah ich, dass sie $13\frac{1}{2}$ Theile Sauerstoffgas und $5\frac{1}{2}$ Theile kohlensaures Gas eingeathmet hatten. Sie hatten also die beiden Gase in demselben Verhältniss oder $\frac{3}{4}$ von dem einen und $\frac{3}{4}$ von dem anderen eingeathmet. Nach dieser Einathmung waren sie gesättigt; bei einem längeren Aufenthalt im Dunkeln vermochten sie ihre Atmosphäre nicht mehr zu verkleinern.

F. **Der Cactus scheint niemals mit Sauerstoffgas gesättigt zu sein, wenn er sich mehrere Tage oder eine unbestimmte Zeit lang im Dunkeln in freier Luft aufgehalten hat.**

Ich habe unter *A* und *D* angegeben, dass der in das Dunkle unter einen mit Luft gefüllten und mit Quecksilber verschlossenen Recipienten gebrachte Cactus in dem Zeitraum von 30 bis 40 Stunden fünf Viertel seines Volumens an Sauerstoffgas aufnimmt, und dass er nach diesem Zeitpunkt das Volumen seiner Atmosphäre nicht mehr vermindert, wie lang auch immer die Versuchsdauer gewesen sein mochte. Nach dieser Beobachtung sollte man glauben, dass ein zu derselben Zeit wie der vorhergehende gepflückter und während mehrerer Tage in freier Luft oder ausserhalb eines Recipienten der Dunkelheit ausgesetzter Cactus seine Atmosphäre nicht verkleinern würde, wenn man ihn ohne Wasser im Dunkeln unter einen mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten brächte. [74] Aber unter diesen Verhältnissen athmet die Pflanze im Zeitraum von 24 Stunden so viel, wie ein Viertel ihres Volumens beträgt, ein; alsdann befindet sie sich im Zustand der Sättigung und athmet nichts weiter ein. Wenn man den Cactus aus seinem Behälter herausnimmt, um ihn im Dunkeln der freien Luft auszusetzen, und um ihn dann wieder im Dunkeln unter den Recipienten zurückzubringen, so athmet er so viel ein wie im vorhergehenden Falle. Indem ich diese Versuche mehrmals wiederholte, konnte ich bewirken, dass dasselbe Blatt im Zeitraum von 15 Tagen das Mehrfache seines Volumens oder eine unbestimmte Menge an Sauerstoffgas aufnahm. Ich werde im Folgenden eine Erklärung dieser Erscheinung geben, welche allen Gewächsen oder wenigstens allen ihren fleischigen Theilen gemeinsam ist.

G. **Der desorganisirte Cactus athmet in atmosphärischer Luft nicht merklich ein.**

Sechs Cubikzoll Cactus, welcher bei Sonnenuntergang gepflückt wurde, wurden in Stücke geschnitten und dann schnell durch Zerreiben in einen Brei verwandelt; unmittelbar darauf wurden sie für eine Nacht unter einen mit atmosphärischer Luft gefüllten und mit Quecksilber abgeschlossenen Recipienten gebracht. Sie veränderten das Volumen ihrer Atmosphäre nicht und absorbirten kein Sauerstoffgas, [75] aber ihr Kohlenstoff verband sich mit diesem Gase, indem sich kohlensaures Gas bildete; der Saft der Pflanze ist geronnen. Die in diesem Versuche durch die Bildung von kohlensaurem Gas verbrauchte Menge Sauerstoffgas war viel geringer*) als diejenige, welche durch die Einathmung verschwunden sein würde; denn der gesunde Cactus würde unter sonst gleichen Umständen wenigstens 3 oder 4 Zoll Sauerstoffgas verbraucht haben, während der desorganisirte Cactus nur ein Viertel dieser Menge bei der Bildung von kohlensaurem Gas zum Verschwinden brachte.

Wenn der Cactus zu einem Brei zerrieben und unmittelbar darauf theils in reines Stickgas, theils in Wasserstoffgas gebracht wird, verhält er sich wie der organisirte Cactus; er dehnt diese Gase aus, indem er in ihnen kohlensaures Gas verbreitet, späterhin fügt er ihnen Wasserstoffgas und Stickgas hinzu.

[76] *H.* **Folgerungen aus den vorstehenden Beobachtungen: das von den Blättern im Dunkeln eingeathmete Sauerstoffgas wird in kohlensaures Gas verwandelt.**

Es ist sehr wahrscheinlich, dass das von dem Cactus und den Blättern aufgenommene Sauerstoffgas im Allgemeinen in ihrem Parenchym in der Form von kohlensaurem Gas zurückgehalten wird. Obgleich diese Ansicht durch directe Versuche nicht bewiesen worden ist, so muss man ihr doch beipflichten, weil sie die einzige zu sein scheint, welche die wichtigsten Thatsachen, die wir soeben beobachtet haben, zu erklären vermag.

Die Fähigkeit, Sauerstoffgas aus- und einzuathmen, welche die Blätter besitzen, scheint derjenigen, kohlensaures Gas zu

*) Diese Behauptung ist nur für die erste Zeit nach dem Tode der Pflanze zutreffend. Wenn diese verfault, verbraucht sie vielmehr Sauerstoffgas als bei der Einathmung.

zersetzen, welche sie gleichfalls besitzen, untergeordnet zu sein. Die grünen Theile der Gewächse, die im Allgemeinen die einzigen sind, welche diese Zersetzung ausführen, sind auch, wie man im Folgenden sehen wird, die einzigen, welche durch die Thätigkeit der Sonne und der Nacht die auf einander folgenden Ein- und Ausathmungen besorgen. Diese beiden Functionen scheinen abwechselnd Ursache und Wirkung von einander zu sein, wie der Fall eines Pendels bei seinen Schwingungen die Ursache seines Steigens und dies Steigen wiederum die Ursache eines neuen Falles ist.

Wenn sich ein Blatt im Dunkeln befindet, [77] unmittelbar nachdem es der Sonne ausgesetzt gewesen war, so enthält es kein kohlensaures Gas mehr, weil dasselbe im Lichte zersetzt worden ist. Die Luft durchstreicht das Blatt frei, wie wir solches vom Sauerstoffgas gesehen haben (*D*). Das atmosphärische Sauerstoffgas wird bei seinem Durchgang durch die Pflanze von ihrem Kohlenstoff ergriffen und bildet kohlensaures Gas, das seinen elastischen [gasförmigen] Zustand und sein Volumen durch seine Vereinigung mit dem Vegetationswasser einbüsst. Das kohlensaure Gas erfährt durch die pflanzliche Organisation eine wenn auch begrenzte Compression, da die dasselbe am meisten absorbirenden Pflanzen nicht mehr als ein und ein Viertel ihres Volumens aufnehmen können. Die Wirkung des Sauerstoffgases ändert sich also nur scheinbar vor und nach der Sättigung des Blattes. Das Gas scheint absorbirt zu werden, so lange das Blatt vor der Sättigung (*A*) das durch dies Sauerstoffgas gebildete kohlensaure Gas condensiren oder absorbiren kann; und es bildet nach der Sättigung freies kohlensaures Gas (*B*), weil das gesättigte Blatt nicht mehr kohlensaures Gas aufnehmen kann.

Aber warum sind die Blätter nicht immer mit kohlensaurem Gas gesättigt, wenn sie sich eine unbegrenzte Zeit im Dunkeln in freier Luft aufgehalten haben (*F*)? Warum bewirkt ihre abwechselnde Exposition im Recipienten und in freier Luft, dass sie das Mehrfache ihres Volumens oder eine unbegrenzte Menge kohlensauren Gases in anhaltender Dunkelheit aufnehmen? [78] Ich erwidere, dass die letztere Erscheinung nur eine Täuschung ist, hervorgerufen durch die Anziehung, welche die freie atmosphärische Luft auf das in den Blättern enthaltene kohlensaure Gas ausübt. Die atmosphärische Luft besitzt eine wirkliche chemische Verwandtschaft zum kohlensauren Gas und hat wie die meisten Verbindungen Grenzen der Sättigung. Es ist vielleicht nicht überflüssig, hier die Beweise dafür in das Gedächtniss zurückzurufen.

Wenn man reines Wasser unter einen mit kohlensaurem Gas gefüllten Recipienten bringt, so sättigt sich das Wasser mit demselben und nimmt nicht weniger und nicht mehr als sein eigenes Volumen davon auf. Wird dies so gesättigte Wasser in mit verschiedenen Mengen atmosphärischer Luft gefüllten Flaschen eingeschlossen, so verliert es von seinem Gas im Verhältniss der in jeder Flasche enthaltenen Luftmenge, und die Luft dehnt sich im Verhältniss der Menge kohlensauren Gases, welches sie dem Wasser entzieht, aus. Wenn es sich darum handelt, diese luftförmige Verbindung zu zerstören, so werden die Substanzen, welche man zu diesem Zwecke verwendet, mehr oder weniger kohlensaures Gas entreissen je nach ihrem Verwandtschaftsgrade zu demselben; Kalkwasser wird mehr entziehen als destillirtes Wasser und Kali mehr als Kalkwasser. Diese Wirkungen und ihre Ursachen sind von *C. Berthollet* in seiner schönen Abhandlung über die chemischen Verwandtschaften (Mémoire de l'Institut National, sciences et arts, vol. 3) mitgetheilt worden.

[**79**] Da reine atmosphärische Luft nicht im Sättigungsgleichgewicht mit einem gesättigten Blatt, das also $1\frac{1}{4}$ seines Volumens an kohlensaurem Gas enthält, steht, so entreisst sie ihm kohlensaures Gas, aber nur eine kleine Menge. Deshalb sieht man, dass, sobald man einen mit Sauerstoffgas oder kohlensaurem Gas gesättigten Cactus unter einen neuen, mit reiner atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten bringt, diese fast sogleich eine Volumenzunahme erfährt (*D*), welche sie einer Ausscheidung von kohlensaurem Gas verdankt, das sie sättigt. Nach dieser Ausscheidung bildet die Pflanze mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft neues kohlensaures Gas, welches sie einathmen kann, weil die gesättigte atmosphärische Luft der Sättigung des Blattes kein Hinderniss mehr in den Weg legt. Wenn man sie aus ihrem Behälter herausnimmt, entzieht ihr die freie atmosphärische Luft den Theil kohlensaures Gas, welches sie soeben erworben hat, und bringt sie von Neuem in die Lage, unter dem Recipienten den an die freie Luft verlorenen Theil aufzunehmen. So häuft sie also kein kohlensaures Gas und kein Sauerstoffgas in diesem Versuche an.*)

*) Die von mir zwischen der atmosphärischen Luft und dem kohlensauren Gas vermuthete Verwandtschaft wird von *Dalton* bestritten. Halten wir uns deswegen an das Experiment und beachten wir, dass, wenn man einen Cubikzoll Wasser in eine aus 90 Cubikzoll atmosphärischer Luft und 10 Cubikzoll kohlensaurem Gas oder aus irgend welchen anderen Mengen bestehende Mischung bringt, und wenn

[80] Man kann die Erscheinungen, welche eine Pflanze, die sich noch aller ihrer vegetativen Eigenschaften erfreut, im Dunkeln in atmosphärischer Luft hervorruft, nicht mit denjenigen vergleichen, welche sie darbietet, wenn sie sich in des Sauerstoffgases beraubten Medien aufhält (*D*).

Im letzteren Falle sind die Lebenserscheinungen aufgehoben; alle Wirkungen, welche die Pflanze als organisirter Körper hervorbringen konnte, sind unterbrochen. Sie fängt an zu faulen, sich zu zersetzen, indem sie aus ihrer eigenen Substanz die beiden Elemente für das kohlensaure Gas liefert. Das Vegetationswasser, welches geringer ist als das Gewicht der Pflanze, nimmt dann nur eine sehr kleine Menge von diesem Gas auf, weil es in demselben nicht durch den Druck, welchen die Lebenskraft auf dasselbe ausüben kann, zurückgehalten wird. Wir haben keine Vorstellung von den Grenzen dieses Druckes. [81] Die Versuche von *Hales* beweisen, dass er das Gewicht unserer Atmosphäre überschreiten kann; aus diesem Grunde konnte die Luftpumpe dem Cactus das kohlensaure Gas, welches er aufgenommen hatte, nicht entziehen (*C*). Weil dieser Druck nicht mehr vorhanden war, athmete der desorganisirte Cactus kohlensaures Gas oder Sauerstoffgas nicht mehr in merklicher Menge ein. Die sehr kleine Menge kohlensaures Gas, welche unter solchen Umständen erforderlich ist, um das Vegetationswasser zu sättigen, war während des Zerreibens gebildet und aufgenommen worden.

Es ergiebt sich im Allgemeinen aus diesen Betrachtungen, dass die Blätter im Dunkeln das atmosphärische Sauerstoffgas, welches sie aufnehmen, nicht assimiliren, wenigstens nicht so weit, dass sie das kohlensaure Gas, welches das Ergebniss dieser Absorption ist, zersetzen. Wenn die Zersetzung unter diesen Umständen vorkommt, so hat sie doch nur in einem solchen Verhältniss statt, dass sie sich allen directen experimentellen Nachweisen entzieht. Diese Schlussfolgerungen würden ohne Zweifel gewagt sein, wenn sie nur auf den Ergebnissen beruhten, welche

---

man dies Wasser herausnimmt, um es im Dunkeln der freien Luft auszusetzen und darauf wieder in das Gemisch zurückzubringen, man, nach mehrfacher Wiederholung dieses Verfahrens mit dem nämlichen Wasser, die atmosphärische Luft fast vollständig der 10 Cubikzoll, welche ihr zugefügt waren, beraubt. Das Wasser hat hier also genau dieselbe Wirkung hervorgerufen wie der Cactus; es hat scheinbar das Zehnfache seines Volumens an kohlensaurem Gas absorbirt, obgleich es sich zeigt, dass es niemals den zehnten Theil dieser Menge angehäuft hat.

mir der Cactus lieferte. Ich fand sie aber an mehr als 60 anderen Pflanzen sehr verschiedener Arten bestätigt. Mehrere unter ihnen verbrauchten in derselben Zeit mehr Sauerstoffgas, indem sie mehr freies kohlensaures Gas in ihrer Atmosphäre zurückliessen; aber keine von ihnen konnte in einer endlos verlängerten Dunkelheit [**82**] das Volumen dieser Atmosphäre um eine grössere Menge, als das Volumen des Gewächses betrug, verkleinern; und das verschwundene Sauerstoffgas befand sich bis auf diese kleine Differenz immer im richtigen Verhältniss zu demjenigen, welches in die Zusammensetzung des gebildeten kohlensauren Gases einging.

§ 3.

I. Ueber das Ausathmen des Cactus in atmosphärischer Luft.

Die 119 Cubikcentimeter (6 Cubikzoll) Cactus, welche zu dem Versuch *A* gedient und welche ihre Atmosphäre verdorben und verkleinert hatten, indem sie in einer einzigen Nacht 79 Cubikcentimeter (4 Cubikzoll) Sauerstoffgas einathmeten, wurden am Morgen ohne Wasser in einem anderen Recipienten der Sonne ausgesetzt, ohne mit seinen Wänden, noch mit der ihn abschliessenden Flüssigkeit in Berührung zu kommen. Diese Luft enthielt 951 Cubikcentimeter (48 Cubikzoll) atmosphärische Luft, die frei von kohlensaurem Gas war. Am Abend war sie um 87 Cubikcentimeter (4,4 Cubikzoll) vergrössert, sie enthielt kein kohlensaures Gas. Das Eudiometer zeigte $27\frac{1}{4}$ Hundertstel Sauerstoffgas an, während es, vordem die Pflanzen hineingebracht worden waren, nur $\frac{21}{100}$ angezeigt hatte. [**83**] Aus diesen Beobachtungen ergiebt sich, dass der Recipient enthielt

vor dem Einathmen

200	Cubikcentimeter	(10,1 Cubikzoll)	Sauerstoffgas,
+ 751	-	(37,9 -)	Stickgas;

nach dem Ausathmen

283	Cubikcentimeter	(14,28 Cubikzoll)	Sauerstoffgas,
+ 755	-	(38,1 -)	Stickgas.

Differenz oder ausgeathmet

83	Cubikcentimeter	(4,18 Cubikzoll)	Sauerstoffgas,
+ 4	-	(0,2 -)	Stickgas.

Dieselben Blätter brachte ich die folgende Nacht in eine neue Atmosphäre gewöhnlicher Luft; sie athmeten 74 Cubikcentimeter ($3\frac{3}{4}$ Cubikzoll) Sauerstoffgas ein und hauchten den folgenden Tag in der Sonne 79 Cubikcentimeter (4 Cubikzoll) Sauerstoffgas und 6 Cubikcentimeter ($\frac{1}{3}$ Cubikzoll) Stickgas aus. Als ich diese Versuche sieben Tage lang fortsetzte, nahm das Ein- und Ausathmen des Sauerstoffgases beständig ab, das Ausathmen des Stickgases beständig zu. Als ich alles Eingeathmete einerseits und das Ausgeathmete andererseits addirte, fand ich, dass derselbe Cactus während sieben Nächte 331 Cubikcentimeter ($21\frac{3}{4}$ Cubikzoll) Sauerstoffgas eingeathmet und während der sieben dazwischen liegenden Tage in der Sonne 584 Cubikcentimeter ($29\frac{1}{2}$ Cubikzoll) Luft ausgeathmet hatte, die aus $23\frac{1}{4}$ Cubikzoll Sauerstoffgas und $6\frac{1}{4}$ Cubikzoll Stickgas bestand. [**84**] Die letzte Ausathmung enthielt mehr als die Hälfte an Stickgas, während die erste nur ein Sechzehntel ihres Volumens davon lieferte.

Die Ausscheidung von reinem Sauerstoffgas übertraf in diesem Versuch die eingeathmete Menge etwas an Grösse, aber der Unterschied ist zu klein und mit Rücksicht auf das Volumen der Pflanze zu geringfügig, als dass man daraus auf die Zersetzung des Wassers schliessen könnte. *)

K. **Ueber das Ausathmen des Cactus in destillirtem Wasser und in Stickgas.**

Ich habe die Versuche über das Ausathmen variirt, indem ich den Cactus, welcher die Nacht trocken in einem mit gewöhnlicher Luft, die frei von kohlensaurem Gas war, gefüllten Recipienten zugebracht hatte, den Tag über unter einen mit destillirtem Wasser erfüllten Recipienten tauchte; die Ergebnisse waren der Hauptsache nach dieselben wie im vorhergehenden Versuch. [**85**] Nur übte in dem Falle, mit dem ich mich jetzt beschäftige, die Pflanze alle ihre Functionen langsamer aus, da sie sich in dem Wasser weniger als in der Luft erwärmte, und da sie sich obendrein in einem ihr nicht zusagenden Medium befand. Sie hatte nicht Zeit genug, während eines sonnigen Tages das von ihr in der Nacht gebildete kohlensaure Gas zu zerlegen. Ausserdem waren ihre

*) Weitere Resultate über diesen Gegenstand werde ich im Kapitel VII. mittheilen. Die Versuche wurden sehr viel länger fortgeführt; die Pflanzen wurden in atmosphärischer Luft mit einer kleinen Menge Wasser ernährt; sie erschöpften sich nicht durch die Abwesenheit dieses Nahrungsmittels und wurden nicht mit wiederholten Umstellungen geplagt.

Aushauchungen durch eine beträchtliche Menge Stickgas verdorben, während die ersten Aushauchungen in gewöhnlicher Luft fast reines Sauerstoffgas waren und in dieser Beziehung den Einathmungen nicht nachstanden. Sechs Cubikzoll Cactus haben in sieben Nächten 17 Cubikzoll Sauerstoffgas aufgenommen und in das Wasser in Form von Blasen 19 Cubikzoll Luft ausgeschieden, die sich nach der Analyse mit Schwefelkali als zusammengesetzt erwies aus 13,3 Cubikzoll Sauerstoffgas und 5,7 Cubikzoll Stickgas. Die erste Ausathmung enthielt $\frac{80}{100}$ Sauerstoffgas und $\frac{20}{100}$ Stickgas. Die siebente Ausathmung bestand aus $\frac{39}{100}$ Sauerstoffgas und $\frac{61}{100}$ Stickgas. Man nimmt wahr, dass dies letztere Gas von der Zersetzung der Pflanze herrührt; sie entwickelt es nämlich nur in beträchtlicher Menge, wenn sie leidet, [86] sei es durch die Dauer des Versuches, oder weil sie sich in einem ihr nicht zusagenden Medium befindet.

Der Cactus, welcher die Nacht in atmosphärischer Luft und den Tag in Stickgas im Sonnenlicht zubringt, athmet grössere Mengen aus als unter Wasser, aber weniger reines Gas als in gewöhnlicher Luft.

L. Einathmung steht zur Ausathmung im Verhältniss.

1. Beweis. Wenn Cactuspflanzen alles Sauerstoffgas, das sie aufnehmen können, eingeathmet haben, indem man sie 36 bis 40 Stunden hinter einander im Dunkeln in einem mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten hält, und wenn man sie darauf der Sonne aussetzt, so athmen sie in 7 bis 8 Stunden viel mehr aus, als wenn sie nur eine einzige Nacht in gewöhnlicher Luft zugebracht haben. Ich stellte diesen Versuch mehrmals an und zwar so, dass kein Zweifel aufkommen kann. Ich werde hier ein Beispiel mittheilen. Nachdem 6 Cubikzoll Cactus während zwölf Stunden im Dunkeln 4 Cubikzoll Sauerstoffgas eingeathmet hatten, hauchten sie gleich darauf in der Sonne im Zeitraum von 7 Stunden 4,2 Cubikzoll von demselben Gase aus. Nunmehr brachte ich dieselbe Pflanze ins Dunkle unter einen Recipienten, [87] in den folgenden 36 Stunden nahm sie $7\frac{1}{2}$ Cubikzoll Sauerstoffgas auf. Darauf ist sie der Sonne ausgesetzt worden und hat in dem Zeitraum von 7 Stunden die $7\frac{1}{2}$ Cubikzoll ausgehaucht, welche sie in den vorhergehenden 36 Stunden eingeathmet hatte. Die Ausathmung vergrösserte sich also um die Menge des Eingeathmeten. Ich halte dies

Ergebniss für wichtig, weil es beweist, dass die Abgabe von Sauerstoffgas, welche eine Wirkung der Einathmung ist, nicht verwechselt werden darf mit der Abgabe, welche der Zersetzung des Wassers zugeschrieben werden könnte.

2. *Beweis.* Ich setzte Cactuspflanzen, welche den Abend vorher gepflückt worden waren, und welche die Nacht theils in reinem Stickgas, theils in reinem Wasserstoffgas zugebracht hatten, in atmosphärischer Luft, die frei von kohlensaurem Gas war, der Sonne aus. Sie hauchten in ihr Sauerstoffgas aus, aber ungefähr die Hälfte weniger, als sie entwickelt haben würden, wenn sie die Nacht in einem mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten zugebracht hätten. Von Neuem brachte ich diese Pflanzen die folgende Nacht in Stickgas und den nächsten Tag in atmosphärische Luft. Sie lieferten die Hälfte weniger Sauerstoffgas, als am vorhergehenden Abend, am dritten Tage noch weniger; am fünften waren sie todt und in Fäulniss begriffen. [88] Die Menge Sauerstoffgas, welche sie in der Sonne während des ganzen Versuches liefern konnten, war geringer als ihr Volumen. Das Ergebniss war dasselbe, als die Pflanze mit einer geringen Menge Wasser ernährt, und als sie, nachdem sie die Nacht im Stickgas zugebracht hatte, unter Wasser der Sonne ausgesetzt wurde. Der Cactus kann also nur eine sehr beschränkte Menge Sauerstoffgas, die geringer ist als sein Volumen, liefern, wenn er die Nacht in einem sauerstoffgasfreien Medium und den Tag in atmosphärischer Luft zubringt.

Sehr abweichende Ergebnisse erhielt ich, als ich den entgegengesetzten Versuch anstellte, d. h. als ich den Cactus für die Nacht in einen mit atmosphärischer Luft gefüllten und für den Tag in einen mit Stickgas gefüllten Recipienten brachte. Alsdann konnte ich den Versuch vierzehn Tage oder längerfortsetzen, ohne dass der Cactus welkte. Die Sauerstoffgasmenge. welche die Pflanze lieferte, hat das Fünf- oder Sechsfache ihres Volumens übertroffen; die Menge war so zu sagen unbegrenzt. Diese Beobachtungen bestätigen die Ankündigung in der Ueberschrift dieses Abschnittes; sie beweisen überdies, dass die Blätter nur während der Nacht ganz besonders die Berührung mit Sauerstoffgas verlangen. Man kann daraus den Schluss ziehen, dass, wenn die Pflanzen darauf [89] angewiesen sind, sich an einem schwach erleuchteten Orte aufzuhalten, wo die Luft immer mehr oder weniger verdorben ist, wie in manchen Gewächshäusern, sie so aufgestellt werden müssen, dass die

Luft, welche sie empfangen, um so häufiger erneuert wird, je dunkler der von ihnen eingenommene Platz ist.

M. Ueber die Wirkung des ungelöschten Kalkes oder des Kalis auf das Ausathmen des Cactus.

Der ungelöschte Kalk oder das Kali, welche in wenig Tagen zarte, in der Sonne vegetirende Blätter zu Grunde gehen lassen, wenn sie in ihre Atmosphäre gebracht werden, üben diese Wirkung auf den vegetirenden Cactus und die fleischigen Pflanzen im Allgemeinen nicht aus, weil deren sehr dickes Parenchym und wenig poröse Epidermis hartnäckiger das gebildete kohlensaure Gas zurückhalten. Wenn man Kalkwasser unter einen mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten stellt, in dem der Cactus eine einzige Nacht zubringt, so bildet er keinen kohlensauren Kalk. Aber er verhält sich nicht mehr so, wenn man Kalkwasser mit der Luft, in welcher sich der Cactus aufhält, in der Sonne zusammenbringt; dann bedeckt sich das Wasser mit kohlensaurem Kalk. In diesem Fall und besonders, wenn man unter den Recipienten trocknen gelöschten Kalk oder eine Lösung von Kali bringt, ist die Ausathmung merklich herabgesetzt, sie ist nur niemals grösser als die Einathmung.

[90] *N.* Die über die Ausathmung des Cactus gewonnenen Ergebnisse können auf die Blätter anderer Pflanzen angewendet werden.

Die Untersuchungen über die Ausathmung können zutreffende und für eine strenge Prüfung geeignete Ergebnisse nur mit grünen Pflanzen liefern, welche viel grüne krautige Materie in einem kleinen Volumen enthalten, und welche eine genügend grosse Energie zum Vegetiren besitzen, um in der Sonne den 10. oder 20. Theil des Recipienteninhaltes verdrängen zu können, ohne sich zu quetschen und die Gefässwände zu berühren, die dann schon heiss genug sind, um das sich an sie anlehnende Gewächs zu zerstören. Die fleischigen Pflanzen sind fast die einzigen, welche sich in dieser Lage befinden. Die dünnen Blätter sind so zart und ausgebreitet, dass sie kaum anders unter einem Recipienten in der Sonne vegetiren können, als wenn die Pflanze, der sie angehören, den 400. oder 500. Theil seines Raumes einnimmt. Indessen kann man aus dem Vergleich der beiden folgenden Versuche zeigen, dass sie denselben Gesetzen unterworfen sind. [91] Wenn man vierzehn Tage lang eine

Pflanze mit dünnen Blättern wie Mentha, Epilobium, Lythrum salicaria unter einem mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten der abwechselnden Wirkung von Sonne und Nacht aussetzt, so wird man finden, dass sich die Atmosphäre nach dem angegebenen Zeitraum weder an Reinheit noch an Volumen geändert hat. Diese Pflanzen nehmen zu wenig Raum ein, als dass die Veränderungen, welche sie hervorrufen, bestimmbar wären. Ein Cactus von demselben Volumen würde unter gleichen Umständen keine bemerkenswerthere Wirkungen hervorgebracht haben. 2. Wenn man dünne Blätter in zwei Recipienten vegetiren lässt, von denen der eine für den Aufenthalt des Gewächses in der Sonne, der andere zu seinem Aufenthalt im Dunkeln bestimmt ist, so wird man bei einem entsprechenden Wechsel der Recipienten nach vierzehn Tagen finden, dass sich die Luft des letzteren an Reinheit und Volumen vermindert, und dass die des ersteren sich verbessert hat.*) Die entgegengesetzten Wirkungen sind zu gering, um in ihren respectiven Mengen sehr genau verglichen werden zu können, [**92**] aber die allgemeinen Ergebnisse können nicht in Zweifel gezogen werden, und man begreift aus dem ersten Versuche, dass die im zweiten erhaltene Besserung dem Sauerstoffgas zuzuschreiben ist, welches von der Pflanze aus der Atmosphäre im Dunkeln in die Atmosphäre in der Sonne gebracht worden ist.

Die dünnen Blätter lassen immer freies kohlensaures Gas in beträchtlicher Menge in ihrer Atmosphäre im Dunkeln zurück. Im Verhältniss zu ihrer grossen Oberfläche wird ihnen von dem kohlensauren Gas, welches sie enthalten, durch die umgebende Luft ein grösserer Theil als den fleischigen Pflanzen entzogen.

§ 4.

Ueber das Verhalten der Pflanzen in reinem Sauerstoffgas.

Obgleich alle Pflanzen sich nur mit Hülfe des Sauerstoffgases entwickeln können, so gedeihen sie doch im Schatten weniger

---

*) Der Versuch ist mit Kressepflanzen (Lepidium sativum) von *Ingenhousz* angestellt worden. Expériences sur les Végétaux, vol. 2, p. 144. Dieser Schriftsteller hat jedoch der Ursache des Ergebnisses, das er erhielt, nicht nachgeforscht. Er giebt an, dass die Verbesserung grösser ist als die Verschlechterung. Ich habe diesen Versuch mit derselben Pflanze wiederholt: die Verschlechterung der Luft schien mir bedeutender zu sein als ihre Verbesserung. Meine eudiometrischen Hülfsmittel waren übrigens besser als die seinigen.

gut, wenn es ihnen ausschliesslich als Atmosphäre dient, als wenn es mit einer bestimmten Menge Stickgas oder Wasserstoffgas gemischt wird. Diese Gase scheinen an sich keinen merklichen Einfluss auf die Lebensverhältnisse der Gewächse auszuüben. Die meisten Pflanzen assimiliren sie nicht, wenn sie isolirt oder gasförmig sind. [93] Aber sie können dem Gewächs nützlich sein, indem sie die Berührungspunkte mit dem Sauerstoffgas vermindern.

In den meisten Versuchen, welche ich mit zum Theil schon entwickelten Erbsenpflanzen (Pisum sativum) anstellte, nahmen sie im Schatten mit Hülfe des Wassers und der von den Cotyledonen gelieferten Nahrung in dem Zeitraum von 10 Tagen um die Hälfte weniger an Gewicht im reinen Sauerstoffgas zu als in gewöhnlicher Luft, wenn sie in Recipienten eingeschlossen waren. In reinem Sauerstoffgas lieferten sie eine viel grössere Menge kohlensaures Gas, das stets an sich für das Vegetiren im Schatten schädlich ist. Das Uebermaass an Sauerstoffgas konnte ihnen überdies nachtheilig sein, da es ihnen zu viel Kohlenstoff wegnimmt.

Als die Erbsenpflanzen in reinem Sauerstoffgas der directen Wirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt wurden, war die Gewichtszunahme fast die nämliche wie in gewöhnlicher Luft, nur schienen ihre Stengel in letzterer länger und dünner zu sein. Die verkürzte Form, welche die Pflanzen im Sauerstoffgas annehmen, kann jedoch mit Sicherheit nicht der Reinheit des Gases zugeschrieben werden, weil es mir schien, als habe diese Wirkung auch in einer künstlichen Atmosphäre statt, die in denselben Verhältnissen wie gewöhnliche Luft aus aus Braunstein gewonnenem Sauerstoffgas und aus aus Rindfleisch durch Salpetersäure erhaltenem Stickgas zusammengesetzt worden war. [94] Das Eudiometer zeigte in dieser Luft dieselbe Zusammensetzung wie in unserer Atmosphäre an.*)

*) Enthält unsere Atmosphäre Substanzen, welche dem Eudiometer entgehen, und welche das Wachsthum der Pflanzen begünstigen, oder erhalten die künstlich dargestellten Gase irgend einen Bestandtheil derjenigen Substanzen, aus denen sie gewonnen sind, und der sich dieser Verlängerung widersetzt? Das wage ich nicht zu entscheiden. Sicher ist, dass das gut gewaschene Stickgas einen thierischen Geruch hat, wenn es aus Rindfleisch dargestellt wird, und einen schwefeligen Geruch, wenn man es mit Hülfe eines Schwefelmetalls [hydrosulfure] aus gewöhnlicher Luft gewinnt.

§ 5.

Ueber die relativen Mengen des im Dunkeln von verschiedenen Blättern verbrauchten Sauerstoffgases.

Ich versuchte zu erforschen, ob die Menge Sauerstoffgas, welche verschiedene Blätter von gleichem Volumen im Dunkeln theils durch das Einathmen, theils durch die Bildung von freiem kohlensaurem Gas verbrauchen oder verschwinden lassen, mit anderen Vegetationsverhältnissen in Beziehung stehe.

[**95**] Die Blätter von Fettpflanzen verbrauchen weniger Sauerstoffgas als die meisten anderen Blätter. Sie halten ihn hartnäckiger fest oder lassen, mit anderen Worten, weniger freies kohlensaures Gas in ihrer Atmosphäre zurück. Diese Erscheinung rührt daher, dass sie sehr viel weniger Berührungspunkte der umgebenden Luft darbieten, und dass ihre Oberfläche unter im Uebrigen gleichen Umständen mit einer viel geringeren Zahl Poren bedeckt ist, wie die mikroskopischen Beobachtungen zeigen. Die Fettpflanzen, welche unter dem Einfluss der Sonne und der Nacht vegetiren, verdanken der Fähigkeit, fast das gesammte im Dunkeln gebildete kohlensaure Gas zurückzuhalten, die Eigenschaft, dass sie nur eine unendlich kleine Menge Kohlenstoff verlieren und folglich auch länger den Mangel dieses Nahrungsmittels ertragen können oder von demselben weniger durch die Wurzeln zum Vegetiren verlangen. Diese Pflanzen leben naturgemäss auf Sand, Thon oder auf einem unfruchtbaren Boden. Da sie nur wenig Sauerstoffgas verbrauchen, können sie in verdünnter Luft wachsen. Die grosse Zahl Sedum, Saxifraga und Sempervivum, welche die Gebirge bewohnen, liefern uns dafür Beispiele.

Die Blätter derjenigen Bäume, welche sich im Winter entlauben, verlieren im Allgemeinen (freilich giebt es zahlreiche Ausnahmen) [**96**] am meisten Kohlenstoff oder verbrauchen am meisten Sauerstoffgas. Man kann wahrnehmen, dass die Herrschaft der Bäume auf hohen Gebirgen lange vor der der Kräuter aufhört.

Die Blätter der immergrünen Bäume verbrauchen weniger Sauerstoffgas als die der sich im Winter entlaubenden Bäume; die ersteren können auf unfruchtbarem Boden und in verdünnter Luft wachsen wie Fichte, Wachholder und Rhododendron.

Die Sumpfpflanzen vegetiren in einem Medium, in dem sie durch die sie umgebenden Dämpfe des Zutrittes des freien Sauer-

stoffgases beraubt sind. Der Versuch lässt erkennen, dass sie unter gleichen Umständen dies Gas in geringerer Menge als die meisten anderen Pflanzen mit krautigem Stengel verbrauchen. Hieraus begreift man, warum man oft krautige Pflanzen der Gebirge in den Sümpfen der Ebene wiederfindet.

Man sieht also, dass im Allgemeinen die Menge des Sauerstoffgases, welches die Blätter verschwinden lassen, zum Standort in Beziehung steht. Die Blätter, welche auf einem unfruchtbaren Boden oder in verdünnter Luft oder an niedrigen und feuchten Orten vegetiren, verbrauchen unter gleichen Verhältnissen weniger [**97**] Sauerstoffgas als diejenigen, welche nur auf einem fruchtbaren Boden mit reichlicher Luftzufuhr wachsen.

Ich füge die Tabelle der Beobachtungen bei, aus denen ich diese Ergebnisse abgeleitet habe. Die Versuche wurden in langen Recipienten angestellt, die durch befeuchtetes Quecksilber verschlossen waren. Sie enthielten 991 Cubikcentimeter (50 Cubikzoll) atmosphärische Luft und 20 Cubikcentimeter (1 Cubikzoll) Blätter. Die nichtfleischigen Blätter erfüllten bei diesem Volumen fast den ganzen Raum des Recipienten. Ich war gezwungen, den Versuch im Dunkeln auf 24 Stunden auszudehnen, weil mehrere unter ihnen in kürzerer Zeit bei dem von ihnen eingenommenen Volumen nicht genügend wahrnehmbare Wirkungen hervorgebracht haben würden, um genau gemessen zu werden. Ich muss bemerken, dass sie nicht welkten, und dass sie nichts von ihrem Aussehen oder ihrer Frische bei diesen Versuchen verloren, welche alle bei einer Temperatur von 15 bis 16° Réaumur angestellt worden sind.

Die in der Tabelle angegebenen Zahlen sind alle auf das Volumen des Blattes als Einheit bezogen worden. Wenn ich also mit der Zahl 5,5 die von Eichenblättern verbrauchte Menge Sauerstoffgas bezeichne, so heisst das, dass sie [**98**] in 24 Stunden fünf und ein halb Mal ihr Volumen Sauerstoffgas zum Verschwinden gebracht haben, theils durch die Bildung von freiem kohlensaurem Gas, theils durch das Einathmen.

In keinem der Versuche haben die Einathmungen das Volumen der Blätter merklich überschritten und häufig sind sie geringer gewesen.

[99] Die relativen von verschiedenen Blättern verbrauchten Mengen Sauerstoffgases.

Tabelle I.

Blätter immergrüner Bäume und Sträucher.

Name der Blätter	Versuchszeit	Während 24 Stunden im Dunkeln verbrauchtes Sauerstoffgas, auf das Volumen des Blattes als Einheit bezogen
Stechpalme Ilex aquifolium	September	0,86
Buchsbaum Buxus sempervirens	September	1,46
Kirschlorbeer Prunus laurocerasus	Mai, neue Blätter September	3,2 1,36
Laurustinus Viburnum tinus	September	2,23
Epheu Hedera helix	September	1
Immergrün Vinca minor	Juni September	1,5 0,93
Tanne Pinus abies	September	3
Hasenohr Bupleurum fruticosum	Mai	4
Sadebaum Juniperus sabina	Juni	2,6
Wachholder Juniperus communis	Juni	2,4

[100] **Tabelle II.**

Blätter von sich im Winter entlaubenden Bäumen u. Sträuchern.

Name der Blätter	Versuchszeit	Während 24 Stunden im Dunkeln verbrauchtes Sauerstoffgas, auf das Volumen des Blattes als Einheit bezogen
Rothbuche Fagus sylvatica	August	8
Hainbuche Carpinus betulus	Mai September	5 6
Eiche Quercus robur	Mai September	5,5 5,5
Rosskastanie Aesculus hippocastanum	September	4,8
Pappel Populus alba	Mai September	6,2 4,36
Aprikose Prunus armeniaca	September	8
Pfirsich Amygdalus persica	Juni September	6,6 4,2
Wallnuss Juglans regia	Mai September	6,6 4,4
Platane Platanus occidentalis	September	3
Robinie Robinia pseudo acacia	Mai September	5 6,7
Syringe Syringa vulgaris	Mai September	3,36 2,2
Esche Fraxinus exelsior	Mai September	4,32 3,71
Birne Pirus	Mai September	5,2 3,4
Rose Rosa centifolia	Juni	5,4
Kastanie Fagus castanea	Juli	5,6

[101] **Tabelle III.**

Blätter krautiger aber nicht das Wasser bewohnender Pflanzen.

Name der Blätter	Versuchszeit	Während 24 Stunden im Dunkeln verbrauchtes Sauerstoffgas, auf das Volumen des Blattes als Einheit bezogen
Kartoffel Solanum tuberosum	September, vor der Blüthe	2,5
Kohl Brassica oleracea	September, junge Blätter	2,4
	September, alte Blätter	2
Brennnessel Urtica urens	September	2
Bingelkraut Mercurialis annua	September, während der Blüthe	2,33
Möhre Daucus carota	September, während der Blüthe	1,9
Saubohne Vicia faba	Vor der Blüthe	3,7
	Während der Blüthe	2
	Nach der Blüthe	1,6
Lilie Lilium candidum	Mai, vor der Blüthe	0,66
	Septbr., nach der Blüthe	0,5
Kapuzinerkresse Tropaeolum majus	September, während der Blüthe	3
Fingerhut Digitalis ambigua	Juli	2
Raps Brassica rapa	September, während der Blüthe	1,25
Hafer Avena sativa	Juni, vor der Blüthe	2,7
Weizen Triticum aestivum	Mai, vor der Blüthe	5
Erbse Pisum sativum	Mai, während der Blüthe	3,72
Raute Ruta graveolens	August	2

[102]

Tabelle IV.

Blätter von Sumpf- und Wasserpflanzen.

Name der Blätter	Versuchszeit	Während 24 Stunden im Dunkeln verbrauchtes Sauerstoffgas, auf das Volumen des Blattes als Einheit bezogen
Froschlöffel Alisma plantago	August	0,7
Alant Inula dissenterica	September	1,6
Weidenröschen Epilobium molle	September, während der Blüthe	1,9
Brunnenkresse Sisymbrium nasturtium	September	1,6
Polygonum persicaria	September, während der Blüthe	2
Ehrenpreis Veronica beccabunga	September	1,7
Hahnenfuss Ranunculus reptans	September	1,5
Weiderich Lythrum salicaria	Mai, vor der Blüthe	2,3
Caltha palustris	Mai	1
Carex acuta	Mai	2,25

[103] **Tabelle V.**

Blätter fleischiger Pflanzen.

Name der Blätter	Versuchszeit	Während 24 Stunden im Dunkeln verbrauchtes Sauerstoffgas, auf das Volumen des Blattes als Einheit bezogen
Fackeldistel Cactus opuntia	August	1
Agave americana	August	0,8
Sempervivum tectorum	Juli	1
Sedum globosum	September	1,5
Saxifraga cotyledon	September	0,6
Sedum reflexum	Juni	1,7
Stapelia variegata	Juli	0,63
Mesembryanthemum deltoides	Juli	1,7

[104] § 6.

Ueber den Einfluss des atmosphärischen Sauerstoffgases auf die Wurzeln der Pflanzen.

Obgleich die Wurzeln in die Erde eingegraben sind, sind sie doch nicht des atmosphärischen Sauerstoffgases beraubt. Man kann von demselben durch einfaches Aufkochen der Gewässer, welche durch Ackerboden durchgesickert sind, eine bestimmte Menge erhalten. Giesst man Wasser in eine in die Oberfläche des Bodens gemachte Vertiefung und fängt die Luft auf, welche es verdrängt, indem es in die Erde eindringt, so findet man, dass sie weniger rein ist als die atmosphärische Luft, dass sie aber stets eine beträchtliche Menge Sauerstoffgas enthält; *Hales* hatte das schon angegeben, aber es schien mir von Bedeutung, nachzuforschen, ob die Berührung dieses Gases mit den Wurzeln der Vegetation nützlich ist.

Ich riss junge, mit Blättern versehene Rosskastanien, von denen jede ungefähr 23 Gramm wog, aus. Sie hatten 2,5 Decimeter lange Wurzeln und fast ebenso lange Stengel. Mit

ihren Wurzeln brachte ich eine Rosskastanie *FG* Fig. III [Tafel] durch den Hals in einen Recipienten von 1,2 Liter Rauminhalt und verkittete seinen Stengel genau mit dem Hals *E*. [**105**] Nachdem ich dies Gefäss mit destillirtem Wasser gefüllt hatte, leitete ich durch seine Oeffnung *CD* 594 Cubikcentimeter Stickgas ein, das mit der ganzen oberen Partie des Wurzelsystems, dessen Enden in das Wasser *HI* tauchten, in Berührung war; der Recipient ruhte auf einer mit Quecksilber gefüllten Schale. Ich stellte einen gleichen Apparat mit Wasserstoffgas auf, und einen anderen mit kohlensaurem Gas, das ich täglich ergänzte, weil es von dem Wasser *HI* aufgenommen wurde. Drei weitere Rosskastanien wurden ebenso, aber in Berührung mit Luft, getrennt aufgestellt.

Die Pflanze, deren Wurzeln mit kohlensaurem Gas in Berührung waren, starb zuerst und zwar nach sieben bis acht Tagen; diejenigen Pflanzen, deren Wurzeln mit Stickgas und Wasserstoffgas in Berührung gewesen waren, starben fast zu gleicher Zeit nach dreizehn bis vierzehn Tagen. Die Rosskastanien hatten, so lange sie vegetirten, durch Bildung von kohlensaurem Gas das Volumen ihrer Atmosphäre vergrössert, die sich nicht verkleinerte, als das kohlensaure Gas entfernt wurde. Diejenigen Pflanzen, deren Wurzeln in gewöhnlicher Luft wuchsen, waren noch nach drei Wochen bei Beendigung meiner Versuche üppig. Ihre Wurzeln [**106**] hatten das Volumen des luftförmigen Fluidums in dem Recipienten verkleinert, theils dadurch, dass sie das von ihnen gebildete kohlensaure Gas absorbirten, theils dadurch, dass dasselbe von dem Wasser *HI* aufgenommen wurde. Das Stickgas dieser Atmosphäre hatte keine Veränderung erfahren.

Hieraus kann geschlossen werden, dass die Berührung der Wurzeln mit dem Sauerstoffgas der Vegetation nützlich ist. Mehrere andere, weniger directe Beobachtungen unterstützen diese Behauptung.

1. *Duhamel* bemerkt (Physique des arbres, Buch I Kap. 5), »dass die Seitenwurzeln um so stärker und kräftiger sind, je näher sie der Erdoberfläche stehen, so dass, wenn man in einer gleichartigen Erde beim Pflanzen eines Baumes mehrere Wurzelzweige erhält, der der Erdoberfläche am nächsten stehende kräftiger werden wird, als der tiefer eingegrabene.« Sollte das nicht der Fall sein, weil der letztere weniger mit dem atmosphärischen Sauerstoffgas in Berührung ist als der erstere? Vielleicht wird man glauben, dass es der Fall ist, weil die oberen Wurzeln

mehr Nahrungssäfte an der Oberfläche des Bodens finden. Aber die folgende Beobachtung beweist, dass man nicht dieser Ursache allein die mitgetheilte Wirkung zuschreiben kann. Häuft man Erde auf die Wurzeln und um einen Baum, welcher in gutem Boden gedeiht, so wird dieser Baum darunter leiden. [**107**] Wenn er nicht daran stirbt, so werden die tieferen Wurzeln faulen, obgleich sie in besseren Boden gepflanzt sind, und er wird in der frisch hinzugefügten Erde neue Wurzeln aus den alten treiben. Es ist überflüssig davon zu sprechen, welche Vortheile sich darbieten, wenn man die Oberfläche des der Vegetation dienenden Bodens lockert oder abträgt.

2. Die Pfahlwurzelgewächse — nach ihrem Bau so genannt, da sie dicke verticale und fast wurzelfasernfreie Wurzeln besitzen — gedeihen unter sonst gleichen Umständen besser in einer trockenen als in einer feuchten Erde und noch besser in einem leichten als in einem festen Boden, wahrscheinlich weil diese Wurzeln, die in Bezug auf ihre Masse wenig Oberfläche darbieten, eine grössere Berührung mit Sauerstoffgas verlangen als dünne Wurzeln, welche diese Berührung selbst in einer schweren Erde erfahren können.

3. Die Wurzeln von Bäumen, welche in Misthaufen, in Schlamm oder in Wasserleitungsröhren eindringen, theilen sich endlos und bilden Fuchsschwänze, weil sie nur so weit wachsen, als sie ihre Berührungspunkte mit der sehr geringen Menge Sauerstoffgas, welches sie in diesen Medien finden, vervielfältigen können.

4. Ein Gewächs, dessen Wurzeln [**108**] plötzlich von stehendem Wasser bedeckt werden, leidet viel schneller davon, als wenn es diesen Zufall durch fliessendes Wasser erduldet. Das Sauerstoffgas des stehenden Wassers wird bald erschöpft sein, dasjenige des fliessenden Wassers wird nicht versiegen. Es muss bemerkt werden, dass das stehende Wasser den Gewächsen nützlicher ist als das reine Wasser, wenn sie dasselbe durch mässige Bewässerung unter Berührung mit Sauerstoffgas erhalten. Aus diesen Beobachtungen kann man schliessen, dass die meisten Gewächse darunter leiden, wenn der Boden zu feucht ist, nicht nur, weil das Wasser ihnen als Nahrungsmittel in überreicher Menge geboten wird, sondern auch, weil ihre Wurzeln fast gar nicht mit der äusseren Luft in Berührung stehen.

Einige Schriftsteller haben geglaubt, dass die Aufgüsse von Erde und Dünger an sich der Vegetation nicht als Nahrungsmittel dienten, weil ausgerissene und mit ihren Wurzeln in diese

Flüssigkeiten gestellte Pflanzen weniger gut gediehen als in reinem Wasser. An der Richtigkeit dieser Beobachtung in ihrer Allgemeinheit zweifle ich aber sehr. Wenn die Aufgüsse sehr wenig gesättigt sind, oder wenn sie sich in der Zusammensetzung dem Quellwasser nähern, so hält sich die Vegetation besser und die Pflanzen nehmen mehr an Gewicht zu, als in destillirtem Wasser oder filtrirtem Regenwasser. [**109**] Die sehr genauen Versuche *Woodward*'s über diesen Gegenstand habe ich wiederholt, und meine Ergebnisse stimmen mit den seinigen überein. Die entgegenstehenden Beobachtungen sind mit wenig Sorgfalt angestellt worden und mit gesättigteren Aufgüssen, als man sie mit Hülfe der Presse aus einer natürlich feuchten fruchtbaren Pflanzenerde erhalten kann. Aber sie müssen mit noch verdünnteren Lösungen angestellt werden, weil die Zwischenräume der Erde Luft zu den Wurzeln hinzutreten lassen, während das Sauerstoffgas, welches vermittelst destillirten Wassers und eines wenig gesättigten Aufgusses sich den Wurzeln bei völligem Eintauchen mittheilen könnte, vollständig von den Extractivstoffen eines concentrirteren Aufgusses verbraucht werden würde.

§ 7.

Ueber die Veränderungen, welche das Sauerstoffgas durch seine Berührung mit den Wurzeln erleidet.

Wird eine gesunde, ihres Stengels beraubte Wurzel, welche Lebenskraft genug hat, um sich nicht durch Fäulniss zu zersetzen, unter einen mit atmosphärischer Luft gefüllten und mit Quecksilber abgesperrten Recipienten gestellt, [**110**] so verkleinert sie das Volumen dieser Luft, indem sie das Sauerstoffgas zu absorbiren scheint. Sie bildet ausserdem kohlensaures Gas mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft. Welches aber auch immer der Rauminhalt des Recipienten und die Dauer des Versuches sein mag, die Menge des Sauerstoffgases, welches von der Wurzel absorbirt zu werden scheint, ist immer geringer als ihr Volumen. Bringt man eine so gesättigte Wurzel sofort in einen anderen mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten, so verändert sie nicht mehr das Volumen derselben, sondern bildet einfach mit dem Sauerstoffgas kohlensaures Gas. Wenn man aber vor der Ueberführung die Wurzel einige Zeit der freien atmosphärischen Luft aussetzt, so absorbirt sie in dem Recipienten eine Menge Sauerstoffgas gleich derjenigen, mit der sie sich im ersten Versuche beladen hatte.

Eine frisch ausgerissene Wurzel der gelben Möhre verbrauchte in 24 Stunden ihr Volumen an Sauerstoffgas und absorbirte ein Hundertstel dieser Menge.

Eine Kartoffel verbrauchte in derselben Zeit 0,4 ihres Volumens an Sauerstoffgas und scheint 0,08 ihres Volumens absorbirt zu haben. Eine Lilienzwiebel mit ihren Wurzeln im eigentlichen Sinne [**111**] consumirte 0,39 ihres Volumens an Sauerstoffgas und absorbirte 0,19 ihres Volumens.

Eine Rübe verbrauchte stets während derselben Zeit einmal ihr Volumen an Sauerstoffgas, während die Absorption den vierten Theil dieser Menge betrug.

Die Unmöglichkeit, in welcher sich eine Wurzel befindet, mehr als ihr Volumen an Sauerstoffgas in einem Recipienten zu absorbiren, aus dem man sie nicht herausnimmt, und die Fähigkeit, welche sie erlangt, nach einer Exposition in freier Luft eine neue Menge zu absorbiren, beweist, dass dies Organ das aufgenommene Sauerstoffgas nicht beständig assimilirt, sondern dass es dasselbe nur in kohlensaures Gas verwandelt, das die atmosphärische Luft ihm nach Maassgabe ihrer Verwandtschaft zum kohlensauren Gas entreissen kann.

Die Wurzeln verhalten sich in der Sonne wie im Schatten fast ganz genau wie im Dunkeln wachsende Blätter, nur ist das Einathmen der ersteren viel weniger merklich, da sie niemals, weil sie das kohlensaure Gas am Tage nicht zersetzen, vollständig desselben beraubt sind.

In den Versuchen, welche ich bisher mitgetheilt, waren den Wurzeln die Stengel genommen worden. Man erhält jedoch sehr abweichende Ergebnisse, wenn sie mit Stengeln versehen sind, und wenn man den Versuch so anstellt, dass die Wurzel [**112**] auf einen mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten beschränkt ist, während der Stengel und die Blätter in die freie Luft hinausragen. Alsdann scheinen die Wurzeln das Mehrfache ihres Volumens an Sauerstoffgas aufzunehmen. Ich benutzte folgenden Apparat und stellte die Versuche mit Polygonum amphibium und P. persicaria an. Ich glaube, dass es nichts Gewöhnliches ist, Pflanzen zu finden, welche sich durch ihre Länge, durch die Geschmeidigkeit ihrer Stengel und ihre Energie zum Vegetiren zu dieser Versuchsanstellung eignen; denn man muss, so weit es möglich ist, Verkittung vermeiden. Sie hält nicht mit der genügenden Sicherheit bei Gewächsen, deren Stengel immer mehr oder weniger der Ausdehnung und Zusammenziehung fähig sind. Auf die Brücke eines Quecksilber-

bades CD [Fig. IV] stellte ich einen engen, mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten AB. Auf die Oberfläche des Quecksilbers HI, das in dem Recipienten enthalten war, liess ich eine Wasserschicht FG von sieben bis acht Linien Dicke fliessen; schliesslich führte ich durch das Quecksilber hindurch die Wurzel EK vom Polygonum LM in den Recipienten ein. Die Wasserschicht FG, welche die Pflanze ernährte, wurde bald von ihr aufgesogen. Alsdann brachte ich mehrere Tage hinter einander in den Recipienten eine neue Menge dieser Flüssigkeit. Aus dem Aufsteigen des Quecksilbers in der Glocke sah ich, dass sich die in dem Gefäss enthaltene Luft nach und nach verminderte. [**113**] Als alles hinzugefügte Wasser aufgenommen worden war, und als sich die Luft des Recipienten um das Neun- bis Zehnfache des Wurzelvolumens vermindert hatte, beendete ich den Versuch und fand, dass das Stickgas nicht absorbirt worden, sondern dass das Sauerstoffgas allein im Verhältniss zur Verminderung des Luftvolumens verschwunden war.

Dies Gas war nicht von dem Gewächs assimilirt, sondern durch die Blätter der Atmosphäre zurückgegeben worden. Denn als ich unter einen mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten eine ganze Polygonum-Pflanze mit Blättern und Wurzeln brachte, so dass diese nur mit ihren äussersten Enden in das im Recipienten enthaltene Wasser tauchten und zum grössten Theil also mit der in ihm eingeschlossenen atmosphärischen Luft in Berührung standen, verminderte sich, wie ich sah, das Sauerstoffgas nicht mehr, weil die Blätter auf der einen Seite ersetzten, was die Wurzeln auf der anderen Seite aufgenommen hatten. In diesen Versuchen verdrängte das Gewächs ungefähr nur den dreihundertsten Theil seiner Atmosphäre.

Führt man in einen sorgfältig verschlossenen und mit atmosphärischer Luft gefüllten Ballon das Ende eines beblätterten Zweiges, der ungefähr den vier- oder fünfhundertsten Theil des Balloninhaltes einnimmt, und welcher in der Erde seine Wurzeln hat (Fig. VIII), [**114**] so verbessert dieser Zweig nach vierzehn Tagen oder 3 Wochen seine Atmosphäre sehr merklich. Aber diese Veränderung greift in wahrnehmbarer Weise nicht Platz, wenn dieselbe Pflanze vollständig mit ihren Wurzeln in den Ballon eingeschlossen wird.

Wenn man genau den Einfluss, welchen die Pflanzen mit Hülfe reinen Wassers auf die sie umgebende Atmosphäre ausüben, erforschen will, so dürfen, wie ich das in Fig. I angedeutet habe, die Wurzeln dieser Pflanzen nicht in das zum Sperren dienende

Wasser *BD* tauchen; denn, wenn diese Menge beträchtlich ist, und wenn man sie oft erneuert, erhält man Ergebnisse analog denen, welche ein im Boden wurzelnder Zweig liefert (Fig. VIII). Die Atmosphäre führt dem Wasser und dieses den Wurzeln eine unbegrenzte Menge Sauerstoffgas zu, das zum Theil durch die Blätter im Recipienten wieder frei wird.

Im Allgemeinen ergiebt sich aus diesen Beobachtungen, dass das Sauerstoffgas nicht unmittelbar von den Wurzeln absorbirt wird, sondern dass es mit der Substanz derselben kohlensaures Gas bildet, welches von den Wurzeln absorbirt und von den Blättern verarbeitet wird.

[**115**] § 8.

Ueber die Veränderungen, welche das Sauerstoffgas durch holzige Stengel erleidet.

Als ich holzige Zweige im Frühjahr unmittelbar vor dem Aufblühen ihrer Knospen in einen mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten (siehe den Apparat Fig. V) stellte, so dass das eine Ende derselben behufs Ernährung in eine kleine Menge Wasser tauchte, belaubten sie sich wie in freier Luft. Aber diese Entwicklung konnten sie unter einem mit Stickgas oder Wasserstoffgas gefüllten Recipienten nicht nehmen, sie faulten, indem sie Stickgas und kohlensaures Gas entwickelten, ohne ein Lebenszeichen von sich zu geben. Die entblätterten holzigen Stengel verschlechtern bei der angegebenen Versuchsanstellung die gewöhnliche Luft sowohl in der Sonne, wie im Schatten, ohne (bis auf das Volumen des Stengels) das Volumen dieser Atmosphäre zu ändern; sie ersetzen regelmässig das verschwindende Sauerstoffgas durch ein gleiches Volumen kohlensaures Gas; demnach assimiliren sie kein Sauerstoffgas. Ihre grünen Theile assimiliren in der Sonne unzweifelhaft eine kleine Menge, indem sie das von ihnen mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft gebildete kohlensaure Gas zersetzen. [**116**] Aber eine derartige Wirkung ist in diesen Versuchen nicht warnehmbar.

Zweige der Weide (Salix alba), der Eiche (Quercus robur), der Pappel (Populus nigra) und Hainbuche (Carpinus betulus) von 7 Millimeter (1 bis 3 Linien) Dicke verbrauchten in 24 Stunden im Frühling und im Sommer bei einer Temperatur von 15 Grad Réaumur mindestens die Hälfte und höchstens das Gleiche ihres Volumens an Sauerstoffgas. Birn- und Apfelbaum

verbrauchten unter denselben Verhältnissen das Zwei- bis Dreifache ihres Volumens.

Die entblätterten holzigen Stengel weisen die Erscheinung des Einathmens von Sauerstoffgas im Dunkeln und des Ausathmens in der Sonne auf und zwar unzweifelhaft nach Maassgabe der in ihrer Rinde enthaltenen grünen Substanz. Diese Ausgabe ist in der atmosphärischen Luft durch die eudiometrische Prüfung nicht wahrnehmbar, weil die Stengel mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft mehr kohlensaures Gas in der Sonne als im Schatten bilden, und weil ihre grünen Theile nicht Oberfläche genug haben, um alles von ihnen in der Sonne gebildete kohlensaure Gas zu zersetzen. Indessen sieht man sehr wohl, dass die Atmosphäre des Zweiges sich während der Nacht verkleinert und ihr früheres Volumen im Licht wieder einnimmt.

[**117**] Die holzigen Stengel ersetzen nicht mehr das verbrauchte Sauerstoffgas durch ein gleiches Volumen kohlensaures Gas, wenn die Wurzeln der Pflanze sich im Boden und ihre Blätter in freier Luft befinden, und wenn nur der Stengel in einer Atmosphäre gewöhnlicher Luft eingeschlossen ist, wie in den Apparaten (Fig. VI und VII), die mit Kitt und Quecksilber verschlossen sind. Das von dem Zweige in seiner Atmosphäre zurückgelassene kohlensaure Gas ist um eine unbestimmbare Menge geringer als das von ihm verbrauchte Sauerstoffgas. Das kohlensaure Gas, welches hier zu fehlen scheint, folgt dem Verlaufe *cad* des Zweiges, um von seinen Blättern in freier Luft zersetzt zu werden. Ich gehe auf die Einzelheiten eines dieser Versuche näher ein:

Anfang Juli kittete ich um 7 Uhr Morgens in der Oeffnung *a* des Cylinders *ab* (Fig. VI), dessen Oeffnung *e* in Quecksilber tauchte, das eine Ende eines Apfelbaumzweiges fest, dem ich die Blätter und die letzten rein krautigen Verzweigungen genommen hatte. Dieser Zweig hatte einen Durchmesser von 5 Millimeter (2 Linien) an der Schnittfläche *c* und verdrängte in dem Apparat 2 Cubikcentimeter (0,1 Cubikzoll); der Cylinder allein enthielt 125 Cubikcentimeter (6,3 Cubikzoll) atmosphärische Luft in dem Theil *ab*; [**118**] denn ich füllte in dem Cylinder das Quecksilber bis *b* auf, so dass die in demselben befindliche Luft unter demselben Druck stand wie die äussere.

Zwei Stunden nach Sonnenuntergang hatte sich das Quecksilber, unter Berücksichtigung der Correcturen, um $3\frac{1}{2}$ Millimeter ($1\frac{1}{2}$ Linien) im Innern der Röhre gehoben. Dies Steigen entsprach ungefähr dem halben Zweigvolumen. Den folgenden

Morgen bei Anbruch des Tages war das Quecksilber ein wenig gefallen, und zwei Stunden nach Sonnenaufgang hatte die Luft das Volumen wieder eingenommen, welches sie vor Beginn des Versuches innegehabt hatte. Diese Luft enthielt $\frac{3}{100}$ kohlensaures Gas und nach Abzug desselben $\frac{13}{100}$ Sauerstoffgas. Der Zweig verbrauchte also in 24 Stunden das Fünfundeindrittelfache seines Volumens an Sauerstoffgas*). Er ersetzte das kaum durch das Dreifache seines Volumens an freiem kohlensaurem Gas und bildete eine grosse Menge Stickgas, [**119**] welches verhindert hat, dass eine Volumenveränderung durch die Aufnahme von Sauerstoffgas oder kohlensaurem Gas stattfand. Ich werde bald auf diese Stickgasentwicklung zurückkommen, welche ein nothwendiges Ergebniss der Versuchsanstellung ist.

Als ich den Versuch auf 48 oder 96 Stunden ausdehnte, verdoppelten und verdreifachten sich die Wirkungen. Es unterliegt daher keinem Zweifel, dass der eingeschlossene Theil des Stengels das von ihm gebildete kohlensaure Gas in unbegrenzter Menge aufnimmt. Aber in keinem dieser Versuche, wie lange sie auch fortgesetzt wurden, ist das Quecksilber jemals mehr als $1\frac{1}{2}$ Linien gestiegen, und es ist stets am folgenden Morgen auf den Punkt zurückgegangen, auf dem es sich den Abend vorher befand. Mit gleichen Ergebnissen wiederholte ich diese Versuche mit der Myrthe und Lonicera xylostheum, indem ich den Apparat in der in Fig. VII angegebenen Weise aufstellte.

Ich stellte dieselben Versuche an (Fig. VI), indem ich die Röhre, welche eine Luftsäule von 1,4 Decimeter Höhe (5 Zoll) enthielt, mit Wasser absperrte. Nach drei oder vier Tagen stieg das Wasser um 2,7 Centimeter (1 Zoll) im Innern der Röhre. Es stieg nicht höher, als ich den Versuch verlängerte. Die um diese Zeit in der Röhre enthaltene Luft enthielt auf Grund der Prüfung mit Ausnahme von 2 oder 3 Hundertstel kohlensaurem Gas nur Stickgas. [**120**] Die Luft erlitt also dieselbe Volumenverminderung, als wenn sie der Wirkung eines Schwefelmetalls [hydrosulfure]

*) Ein Zweig von denselben Dimensionen wie der vorstehend erwähnte war von diesem Apfelbaum abgetrennt und für 24 Stunden unter einen mit Quecksilber abgesperrten Recipienten ebenso exponirt worden wie derjenige, welcher mit dem Boden zusammenhing. Er brachte das Vierfache seines Volumens an Sauerstoffgas zum Verschwinden und ersetzte dasselbe durch kohlensaures Gas. Er entwickelte kein Stickgas. Aus diesen beiden Versuchen ergiebt sich, dass der mit dem Boden in Verbindung stehende Zweig mehr Sauerstoffgas verbraucht als der von ihm getrennte.

unterworfen gewesen wäre. Es wurde kein Stickgas gebildet. *Hales* hatte diesen letzteren Versuch*) angestellt und war zu den nämlichen Ergebnissen gekommen; aber sie beweisen für den uns hier beschäftigenden Gegenstand nichts, weil das gebildete kohlensaure Gas, da es vom Wasser absorbirt wird, nicht mit dem Sauerstoffgas verglichen werden kann, welches zu gleicher Zeit verschwindet.

Dieser berühmte Naturforscher hat eine Ansicht geäussert, die bestritten werden muss. Er hat geglaubt, dass die holzigen Zweige mehr Luft während des Tages aufnehmen, und dass sie dieselbe während der Nacht ausathmen.**) Er kittete, wie im Versuch Fig. VI, das entblätterte Ende eines Apfelbaumzweiges in der Oeffnung *a* der Röhre *ae* fest; er füllte aber diese Röhre vollständig mit Wasser und tauchte sie mit ihrem unteren Ende in Quecksilber. Indem dieser Zweig das Wasser unverzüglich aufsog, stieg das Quecksilber um mehrere Zoll über sein Niveau. Dies Aufsteigen hörte bald auf, weil sich aus dem eingeschlossenen Zweige Luftblasen entwickelten, die ein ferneres Steigen verhinderten. [**121**] Diese Luft stammte (und der Verfasser hat es überdies mit Genauigkeit gesehen) aus der atmosphärischen Luft, die von *d* aus nach *c* hin durch die Schnittfläche in den leeren Raum geführt wurde, welcher in der durch das poröse Holz des Zweiges unvollkommen verschlossenen Röhre die Erhebung des Quecksilbers zu bewirken strebte. Er bemerkte, dass das Quecksilber am Tage stieg und Nachts sank, und bei dieser Gelegenheit sprach er seine Meinung vom täglichen Einathmen und nächtlichen Ausathmen der Stengel aus. Aber er schrieb mit Unrecht der vegetirenden Pflanze eine Wirkung zu, die nur abhängig war von der Aufstellung seines Apparates und von der grösseren und geringeren Wasseraufnahme am Tage und in der Nacht.

Wenn der Baum am Tage durch seine Blätter transpirirte, überwog das Volumen des durch den Zweig aufgenommenen Wassers das der atmosphärischen Luft, welches in der Richtung von *d* nach *c* in die Röhre eindrang, und diese Luft trat wieder aus, wo sie eingedrungen war, d. h. durch die Poren des Holzes. Wenn in der Nacht die Transpiration geringer wurde oder aufhörte, war das auch mit der Saugung der Fall. Indem die Luft in den Apparat in viel grösserem Verhältniss eindrang, als das

*) Statik der Gewächse, franz. Ausg. p. 130.
**) l. c. p. 76 und 77.

Wasser aufgesogen wurde, brachte sie das Quecksilber zum Sinken.

Fast ebenso verhalten sich die Dinge, wenn die Röhre mit atmosphärischer Luft gefüllt ist; doch sind hier die Ergebnisse für das Auge fast nicht wahrnehmbar, [122] weil der Zweig viel langsamer kohlensaures Gas als Wasser aufsaugt. Kaum hat er, indem er einen Theil dieses Gases aufsaugt, das Quecksilber um ein und ein halb Linien über sein Niveau zum Steigen gebracht, als dasselbe atmosphärische Luft in den Apparat zieht. Der Zweig verbraucht ihr Sauerstoffgas und lässt nur Stickgas zurück; dieser Ursache muss man die Entwicklung desselben im ersten Versuche zuschreiben.

Es wird kein Stickgas in einer Luftsäule von 1,4 Decimeter (5 Zoll) Höhe, welche durch Wasser abgesperrt ist, gebildet, weil die Erhebung um 2,7 Centimeter (1 Zoll) Wasser nicht genügend ist, um die atmosphärische Luft zum Eindringen in den Apparat zu bewegen. Wenn aber die Wassersäule höher ist, ruft sie dieselbe Wirkung hervor wie das Quecksilber.

Als ich das Ende eines Apfelbaumzweiges in einer vollständig mit Quecksilber gefüllten Röhre *ae* (Fig. VI) festkittete und diese Röhre in ein Quecksilberbad tauchte, tief genug, dass der verkittete Hals *a* untertauchte, hat der Zweig in der Röhre in 24 Stunden weder in der Sonne noch im Schatten Gas entwickelt. Als ich aber auf dem Zweig, indem ich das äussere Niveau senkte, eine Quecksilbersäule von 2,7 Decimeter (10 Zoll) Höhe lasten liess, [123] entwickelte er besonders durch seine Schnittfläche *c* eine Unzahl Gasblasen, die das Quecksilber um ungefähr einen Decimeter (3 bis 4 Zoll) in 24 Stunden sinken liessen. Nach 60 Stunden war es auf das Niveau des Quecksilbers im äusseren Gefäss gefallen. Das entwickelte Gas enthielt $\frac{86}{100}$ Stickgas, $\frac{9}{100}$ Sauerstoffgas und $\frac{5}{100}$ kohlensaures Gas. Wenn man jedoch die vom Zweige im Apparat verbrauchte Menge Sauerstoffgas berechnet, so muss, wie mir scheint, das Gas ursprünglich denselben Grad von Reinheit gehabt haben, wie die atmosphärische Luft.

Acht Tage lang setzte ich unter einem mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten einen jungen Apfelbaum mit Blättern, Stengel und Wurzeln der Sonne aus. Er veränderte seine Atmosphäre nicht merklich. Das Sauerstoffgas, welches die Stengel in einigen der vorhergehenden Versuche assimilirt zu haben scheinen, circulirte also im Innern des Gewächses, um durch die Blätter ausgehaucht zu werden.

Von den in den Apparaten Fig. VI und VII enthaltenen Zweigstücken *ac* löste ich die Rinde los; sie nahmen gleichfalls kohlensaures Gas auf und zersetzten das von ihnen gebildete durch ihre Blätter. Als ich diesen Versuch unter einem Recipienten und mit abgeschnittenen Zweigen, wie in Fig. V, anstellte, [**124**] liessen dieselben im Gefäss eine Menge kohlensaures Gas zurück, welches genau so gross war, wie die des von ihnen zum Verschwinden gebrachten Sauerstoffgases, und bei gleichem Volumen und gleicher Oberfläche riefen sie dieselben Wirkungen in ein- bis zweimal weniger Zeit hervor, als das nicht entrindete Holz. Die Härte, welche die ihrer Rinde beraubten Bäume erlangen, darf also nicht, wie mehrere Schriftsteller geglaubt haben, der Aufnahme von Sauerstoffgas durch das Holz zugeschrieben werden, sie hängt vielmehr, wie ich im Folgenden zeigen werde, von einem Uebermaass an Kohlenstoff ab.

Als ich diese Versuche anstellte, sah ich, dass das Holz, besonders dasjenige der Eiche, zuerst vollkommen weiss, sich im Verlauf von einigen Stunden tiefgelb bis braun färbt. Diese Färbung war, wie auch Andere beobachtet haben, intensiver in der Sonne als im Schatten. Die Umwandlung des Sauerstoffgases in kohlensaures Gas durch das entrindete Holz geht gleichfalls schneller im Licht als im Dunkeln vor sich.

Als ich frisches und eben erst entrindetes Eichenholz in Stickgas oder unter Wasser der Sonne aussetzte, bewahrte es seine weisse Farbe und färbte sich darauf sofort in der Sonne unter mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten. Diese Färbung ist also eine Wirkung der Berührung mit Sauerstoffgas; sie beruht, wie sich das *Berthollet* (Art de la teinture, vol. I pag. 48) gedacht hat, [**125**] auf einem Niederschlag von Kohlenstoff und auf der Bildung von Wasser. Aber diese Bildung rührt nicht davon her, dass das atmosphärische Sauerstoffgas sich mit dem Wasserstoffgas des Holzes verbindet. Die Erklärung würde dem Versuch widersprechen, welcher beweist, dass das verbrauchte Sauerstoffgas sich in genau gleicherMenge in dem gebildeten kohlensauren Gas wiederfindet. Der Kohlenstoffniederschlag rührt daher, dass das Holz, indem es eine kleine Menge seines Kohlenstoffs durch das Sauerstoffgas, das denselben dem Holze entreisst, verliert, zu gleicher Zeit in viel grösserem Verhältniss in der Gestalt von Wasser (siehe Kap. IV, § 3) sein Sauerstoffgas und Wasserstoffgas verliert. Die Abwesenheit dieser Elemente bewirkt, dass in dem holzigen Rückstand Kohlenstoff vorherrscht.

Senebier hat eine der eben mitgetheilten analoge Beobachtung gemacht. Er sah, dass der mit Weingeist aus den Blättern dargestellte grüne Auszug in der Sonne nur gelb wird, wenn er mit Sauerstoffgas in Berührung ist. (Physiologie végétale, t. III p. 144.)

§ 9.

Ueber die Veränderungen, welche das Sauerstoffgas durch seine Berührung mit Blüthen erleidet.

Die Blüthen, selbst diejenigen der Wasserpflanzen, entfalten sich nach meinen Untersuchungen nicht in reinem Stickgas. [**126**] Ihre Knospen, bereit sich zu öffnen, sind in ihm wie paralysirt, und die geöffneten und nicht geöffneten Theile verfaulen in ihm schneller als unter mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten. Blüthen, welche wie die weissen Lilien und die gefüllten Rosen, ohne zu verderben, in 24 Stunden unter einem mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten den 7. oder 8. Theil der sie umgebenden Atmosphäre verwandelten, ersetzten — das Volumen der Blüthen ausgenommen — das von ihnen zum Verschwinden gebrachte Sauerstoffgas durch kohlensaures Gas. Ich sage, das Volumen der Blüthe ausgenommen, weil sie in ihrem Parenchym eine kleinere Menge als ihr Volumen an kohlensaurem Gas zurückgehalten hat. Als aber die Blüthe unmittelbar darauf unter einen anderen, mit gewöhnlicher Luft gefüllten Recipienten gebracht wurde, fand diese Aufnahme nicht mehr statt. Auf die Erklärung dieser Beobachtung werde ich nicht wieder zurückkommen.

Selten verändern frisch gepflückte und in ein mit gewöhnlicher Luft gefülltes Gefäss eingeschlossene Blüthen merklich das Volumen ihrer Atmosphäre, weil sie fast gänzlich das von ihnen aufgenommene kohlensaure Gas durch Stickgas ersetzen. Sie weichen in dieser Hinsicht von anderen Pflanzentheilen ab, welche, wenn sie im Dunkeln vegetiren, viel weniger Stickgas aushauchen und folglich fast immer das Volumen der umgebenden Luft verkleinern.

[**127**] Sollte nicht die Bildung des Stickgases im Dunkeln durch Blüthen, welche dabei nicht zu leiden scheinen, in Zusammenhang stehen mit derjenigen ihrer Gerüche? Aber selbst wenn man finden würde, dass dies Gas ebenso reichlich gebildet wird von sehr wohlriechenden wie von weniger wohlriechenden

Blüthen, so könnte man daraus noch nichts gegen diese Vermuthung schliessen, weil es möglich wäre, dass der Duft nicht aller Blüthen unsern Geruchssinn reizt. Es ist zu bedauern, dass die Herrschaft der Blüthen von so kurzer Dauer ist, dass man die Versuche kaum über 36 Stunden ausdehnen kann, und dass man zu der Befürchtung gedrängt wird, die nicht zu berechnende Störung einer so zarten Organisation möchte auf die Ergebnisse einwirken.

In den soeben mitgetheilten Versuchen schienen die Blüthen nicht die geringste Veränderung erlitten zu haben. Sie haben nichts von ihrem Ansehen und ihrer Frische verloren. Diejenigen, welche sich im Knospenzustande befanden, blühten unter dem Recipienten auf. Sie waren mit ihren grünen Theilen versehen, weil es unmöglich war, dieselben abzutrennen, aber diese grünen Theile waren im Verhältniss zum Volumen der Kronblätter zu klein, um irgend einen merklichen Einfluss in den mit Rose, Lilie, Levkoje, Kapuzinerkresse und den Kätzchen der Kastanien angestellten Versuchen auszuüben. [**128**] Weisse Lilien verbrauchten im Schatten in gewöhnlicher Luft während 24 Stunden unter einem durch Quecksilber abgesperrten Recipienten und bei einer Temperatur von 17 Réaumur einmal ihr Volumen an Sauerstoffgas. Sie absorbirten von diesem Gas eine Menge gleich fünfzehn Hundertstel ihres Volumens und haben dieselbe ersetzt durch fünfzehn Hundertstel ihres Volumens an Stickgas.

Nach diesen Auseinandersetzungen wird man die folgenden Angaben verstehen.

Menge des während 24 Stunden im Schatten verbrauchten Sauerstoffgases		Absorption	Menge des gebildeten Stickgases
Blätter von Lilie (Lilium album)	1,1	0,15	0,15
Dolden der Möhre (Daucus carota)	2,1	0,3	0,3
Blüthen der Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus)	2,17	0,5	0,5
Blüthentraube des gemeinen Diptam (Dictamnus albus)	2,6	0,7	0,7
Blüthentraube der gefüllten Levkoje (Cheiranthus incanus)	1,2	0,7	0,4
Rose-chou (Rosa centifolia)	1,8	0,43	0,43
Männliche Kätzchen der Kastanie (Fagus castanea)	4,7	0,22	0,22

[**129**] Die Blumenblätter verbrauchen mehr Sauerstoffgas in der Sonne als im Schatten; sie strömen kein Wasserstoffgas aus. Vergeblich versuchte ich in reinem Sauerstoffgas, in welchem ich unter öfterem Wechsel Blüthentrauben von Dictamnus acht Tage lang vegetiren liess, eine Detonation zu bewirken. Die Entzündung, welche man bei dieser Pflanze hervorrufen kann, scheint ausschliesslich von der Verbrennung ihres ätherischen Oels herzurühren.

Dieselben Versuche und zwar mit den nämlichen Ergebnissen stellte ich theils in der Sonne, theils im Schatten mit Kapuzinerkresse und Ringelblumen an. Man hat behauptet, dass sie von selbst Blitze erzeugten, aber diese Erscheinung ist nur von zwei Beobachtern gesehen worden, während die Blüthen in allen Gärten verbreitet sind. Man wird um so mehr geneigt sein, dieselbe zu bezweifeln, weil der Glanz der Blüthen geeignet ist, Täuschung hervorzurufen.

§ 10.

Ueber den Einfluss des Sauerstoffgases auf die Früchte.

Die Versuche, welche man mit Früchten anstellen kann mit Rücksicht auf die Fragen, welche mich bis jetzt beschäftigt haben, sind bei weitem unzuverlässiger als die mit anderen Pflanzentheilen, weil die Früchte fast keine Lebenskraft bewahren, wenn sie von dem Gewächs, das sie erzeugt hat, losgelöst werden.

[**130**] Als ich unreife Weintrauben, deren Rebe im Boden wurzelte, in einen sorgfältig verschlossenen und der Sonne ausgesetzten Ballon brachte, verbesserten sie vor der Reife ihre aus gewöhnlicher Luft bestehende Atmosphäre in dem Zeitraum von 14 Tagen, ohne eine merkliche Menge kohlensauresGas zu verbreiten, und reiften. Als ich jedoch in denselben Ballon gelöschten und rasch bei der Wärme des kochenden Wassers getrockneten Kalk that, verschlechterten sie unter den nämlichen Verhältnissen ihre Atmosphäre und konnten nicht reifen. Dieselben Verhältnisse erhielt ich mit Beeren von Solanum pseudocapsicum. Grüne Früchte scheinen demnach dieselben Resultate zu liefern wie die Blätter.

Als ich vor der Reife Weintrauben, Beeren von Solanum, Birnen und vom Baume genommene Aepfel unter mit gewöhnlicher Luft gefüllte Recipienten brachte, verschlechterten diese Früchte im Zeitraum von 24 Stunden ihre Atmosphäre, obgleich

sie den Tag über in der Sonne zubrachten. Ihr Ein- und Ausathmen war sehr unmerklich; sie konnten während des Tages nicht alles kohlensaure Gas zersetzen, welches sie in der Nacht gebildet hatten. [131] Als sie während mehrerer Wochen in ununterbrochener Dunkelheit gehalten wurden, assimilirten sie kein Sauerstoffgas. Dasjenige, welches sie verschwinden liessen, hat sich in gleicher Menge (mit Ausnahme des Volumens der Frucht) in dem gebildeten kohlensauren Gase wiedergefunden.

§ 11.

Ueber den Nutzen des Sauerstoffgases für die Ernährung der Gewächse.

Um hier die wichtigsten Einwirkungen des Sauerstoffgases auf die Ernährung der Gewächse zusammenzustellen, werde ich in Bezug auf einige Functionen, die in den Kapiteln VII u. VIII Besprechung finden werden, vorgreifen müssen. Der Humus enthält Extracte, welche in die Pflanzen eindringen und ihre Vegetation begünstigen. Wenn diese Säfte erschöpft sind, entwickelt das Sauerstoffgas im Humus, indem es ihm den Kohlenstoff entzieht, ein neues, das erste ersetzende Extract. Die Wirkung des Sauerstoffgases auf den Boden beschränkt sich nicht auf diesen Einfluss allein. Während der Humus Kohlenstoff verliert, giebt er zu gleicher Zeit in der Form von Wasser sein Sauerstoffgas und Wasserstoffgas ab. Die Aufnahme dieser Flüssigkeit kann unter gewissen Umständen der vegetirenden Pflanze nützlich sein.

[132] Die sich mit Hülfe des destillirten Wassers unter einem mit Luft gefüllten Recipienten entwickelnden Pflanzen entbehren des Humus zu ihrer Ernährung; aber ihre eigene Substanz, auf deren Kosten sie wachsen, ersetzt denselben. Die inneren Theile des Stengels oder ein Theil der Wurzeln oder die unteren Blätter welken und entleeren ihre Säfte in die sich entfaltenden Theile. Alle Einwirkungen des Sauerstoffgases auf den Humus beziehen sich auf den Fall, welchen wir nun prüfen wollen.

Ich habe in diesem und Kapitel II gezeigt, dass die grünen Pflanzen ihren Kohlenstoff mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft verbinden, um kohlensaures Gas zu bilden, und dass sie welken, wenn man sie daran hindert, dasselbe zu zersetzen, indem man ihnen dasselbe durch Kalk oder Kali entzieht. Die grünen Theile werden wahrscheinlich nur in so weit den Kohlenstoff der extrahirten Säfte assimiliren, als derselbe von ihnen in kohlensaures Gas verwandelt wird. Zu dieser Verbindung ist

das Sauerstoffgas von absoluter Nothwendigkeit für die vegetirenden Pflanzen.

Das Sauerstoffgas dient selbst den grünen Theilen als Nahrungsmittel, sie assimiliren es nicht unmittelbar; wenn sie es aber in kohlensaures Gas verwandelt haben, halten sie, indem sie dasselbe zersetzen, einen Theil des Sauerstoffgases zurück. [**133**] Diese Wirkung ist so unbedeutend, dass sie nur geschätzt werden kann, wenn man den Pflanzentheilen eine grosse Menge kohlensauren Gases zum Zersetzen darbietet. (S. Kapitel II, § 4 und Kapitel VII, § 3.)

Eine nur aus Stickgas und kohlensaurem Gas zusammengesetzte Atmosphäre ist der Vegetation nicht günstig (Kapitel II, § 2); freies Sauerstoffgas muss hinzutreten. Es ist also ein Einfluss vorhanden unabhängig von demjenigen, welcher sich darauf beschränkt, den Pflanzen unter der Gestalt von kohlensaurem Gas die Elemente darzubieten, welche sie assimiliren können. Man kann vermuthen, dass dieser zweite Einfluss nicht nur darin besteht, in dem Humus oder in der Pflanze nährende Extracte und Wasser zu bilden, sondern auch durch die Vereinigung des Sauerstoffgases mit dem Kohlenstoff des Gewächses eine Entwicklung von Wärme hervorzurufen. Diese Entwicklung ist ein nothwendiges Ergebniss jener Verbindung. Wenn sie meistens unserer Beobachtung entgeht, so rührt das daher, dass ihre Menge klein ist und ihr die Wirkung der Verdunstung entgegensteht.

Rückblick.

Werden grüne Pflanzen in atmosphärischer Luft der abwechselnden Wirkung von Tag und Nacht ausgesetzt, so athmen sie mit kohlensaurem Gas gemischtes Sauerstoffgas abwechselnd ein und aus. [**134**] Das von den grünen Pflanzen eingeathmete Sauerstoffgas wird nicht unmittelbar von ihnen assimilirt, es wird beim Einathmen in kohlensaures Gas verwandelt. Sie zersetzen dasselbe beim Ausathmen und nur durch diese Zersetzung, welche blos partiell ist, können sie das Sauerstoffgas, das ihnen als Atmosphäre dient, assimiliren.

Die Wurzeln, das Holz, der Splint, die Kronblätter und alle Theile, welche im Allgemeinen nicht grün sind, athmen nicht abwechselnd ein und aus. Sie assimiliren weder unmittelbar noch mittelbar das atmosphärische Sauerstoffgas; sie verwandeln dasselbe in kohlensaures Gas, welches sich in ihren fleischigen Theilen in geringer Menge zurückgehalten oder gelöst findet,

wie es in reinem Wasser der Fall sein könnte; sonst verändern sie es nicht.

Ich habe die Täuschungen aufgedeckt, in welche man verfallen könnte, wenn man diese Experimente nur mit einem einzigen Pflanzentheil anstellte. Das kohlensaure Gas, welches die Wurzeln, der Stamm und die holzigen Zweige mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft bilden, folgt dem Längsverlauf der Pflanze, um in den Blättern zersetzt zu werden.

[**135**] Ich habe gezeigt, dass die Berührung des Sauerstoffgases mit den Wurzeln und im Allgemeinen mit den nicht grünen Theilen für die Vegetation wesentlich ist. Ich werde diesen Gegenstand im Kapitel VI wieder aufnehmen.

Die Blätter der Sumpf- und Fettpflanzen wie der immergrünen Bäume verbrauchen im Allgemeinen unter sonst gleichen Umständen weniger Sauerstoffgas als die Blätter anderer Pflanzen.

Der namhafteste von dem Sauerstoffgas auf die Vegetation ausgeübte Einfluss besteht darin, kohlensaures Gas zu bilden und unter dieser Gestalt den Pflanzen die Elemente, welche sie assimiliren können, darzubieten.

[**136**] Viertes Kapitel.

Ueber den Einfluss des Sauerstoffgases auf einige organische Stoffe der Gewächse.

Mehrere vegetabilische Verbindungen erleiden durch die Berührung mit Sauerstoffgas in den ersten Stadien ihrer Gährung Veränderungen, die wir auf ihre Ursache verfolgen wollen. Diese Prüfung wird uns über die Veränderungen aufklären können, welche diese Verbindungen beim Vegetationsprocess erleiden, wenn es richtig sein sollte, dass man zuweilen die Wirkungen einer desorganisirten Substanz mit denjenigen Wirkungen vergleichen kann, welche sich in einer sich aller ihrer vegetativen Fähigkeiten erfreuenden Pflanze geltend machen.

§ 1.

Ueber die Rolle des Sauerstoffgases bei der Fällung von Extracten.

*Fourcroy**) hat beobachtet, dass in den in Wasser gelösten Extracten durch die Berührung mit der Luft [**137**] Häutchen

*) Annales de Chimie, vol. 5.

entstehen oder Stoffe gefällt werden, welche in der Flüssigkeit gelöst waren. Er schrieb diese Fällung der Verbindung des Sauerstoffgases mit dem Extract selbst zu; aber ich weiss nicht, ob sich diese Behauptung des gelehrten Verfassers auf die Analyse des Niederschlages oder auf eudiometrische Prüfung stützt.

Unter mit atmosphärischer Luft gefüllte und mit Quecksilber abgeschlossene Becher brachte ich Kapseln, die mit Extracten der Chinarinde, des Eichenholzes und verschiedener Humusarten gefüllt waren. Nach einigen Tagen fand ich, dass sich in den Lösungen ein Niederschlag abgesetzt, und dass die Luft der Recipienten eine kleine Volumenverminderung erfahren hatte. Die eudiometrische Prüfung dieser Atmosphäre bewies mir, dass das verschwundene Sauerstoffgas sich nicht vollständig in dem freien kohlensauren Gas, welches sich zu gleicher Zeit gebildet hatte, wiederfand. Aber ein wichtiger Umstand fiel mir dabei auf, nämlich der, dass die Volumenverminderung des Sauerstoffgases, mit dem ich den Versuch anstellte, immer geringer ist als das Volumen des Extractes, welchen Grad von Dünn- oder Dickflüssigkeit er haben mochte. Wenn man zehn Volumentheile Extract mit tausend Volumentheilen atmosphärischer Luft in Berührung bringt, so erleidet diese eine zehn Theile nicht überschreitende Volumenverminderung. [**138**] Dies constante Ergebniss liess mich vermuthen, dass das Sauerstoffgas sich nicht mit dem Extract verbindet, sondern dass es ihm Kohlenstoff unter Bildung von kohlensaurem Gas entzieht, von dem die Flüssigkeit nur ihr eigenes Volumen aufnehmen kann.

Als ich nach diesem Versuche die dem Anscheine nach mit Sauerstoffgas gesättigten extrahirten Säfte der Wirkung des luftleeren Raumes unterwarf, entzog ich denselben eine Menge kohlensauren Gases, welches dem Volumen des von ihnen absorbirten Sauerstoffgases fast genau gleichkam; indessen hatte diese Gasentbindung vor der Sättigung nicht statt. Aber dieser Versuch war keiner genügend grossen Genauigkeit fähig, um entscheidend zu sein. Nicht ebenso steht es hingegen mit demjenigen, den ich sogleich mittheilen werde.

Ich liess einen Strom kohlensaures Gas durch die Extracte streichen, vordem ich sie zu den Versuchen benutzte; alsdann wurden sie für einige Augenblicke der freien Luft ausgesetzt (damit sie sich einer überschüssigen Menge kohlensauren Gases entledigten). Unmittelbar darauf wurden sie unter einen mit gewöhnlicher Luft gefüllten, auf Quecksilber stehenden Recipienten gebracht. Als ihre Atmosphäre in dem Zeitraum von

einigen Stunden keine Ausdehnung erlitten hatte, ist der Versuch fortgesetzt, im Falle einer Ausdehnung hingegen ist die Luft des Recipienten erneuert worden. [**139**] Die so hergerichteten und allen überschüssigen kohlensauren Gases beraubten Extracte erlitten dieselben Veränderungen, als wenn sie nichts absorbirt hätten; sie bedeckten sich mit einem unlöslichen Häutchen, veränderten jedoch das Volumen ihrer Atmosphäre nicht. Sie absorbirten kein Sauerstoffgas, brachten dasselbe aber zum Verschwinden, indem sie es durch ein dem verbrauchten Sauerstoffgas genau gleiches Volumen kohlensaures Gas ersetzten.

Aus meinen Versuchen ergiebt sich demnach, dass die Extracte in den ersten Stadien der Gährung und während der Bildung ihrer Häutchen kein Sauerstoffgas assimiliren, und dass die Wirkung sich darauf beschränkt, ihnen den Kohlenstoff zu entziehen.

Verlieren die Extracte durch die Wirkung des Sauerstoffgases eine kleine Menge ihres Kohlenstoffs, so geben sie in viel grösserer Menge ihr Sauerstoff- und ihr Wasserstoffgas in Form von Wasser ab. Ich führe hier nur ein Beispiel von den von mir über diesen Gegenstand angestellten Versuchen an, sie lieferten mir alle übereinstimmende Ergebnisse. Ich mischte 1,91 Gramm (36 Gran) getrocknetes Eichenholzextract mit 30 Gramm (1 Unze) Wasser, welches gerade bis zu dem Punkt mit kohlensaurem Gas getränkt war, dass die Atmosphäre aus gewöhnlicher Luft, in welche ich die Mischung gestellt hatte, keine Ausdehnung erlitt. [**140**] Diese Atmosphäre, welche 792 Cubikcentimeter (40 Cubikzoll) einnahm, enthielt 21 Hundertstel Sauerstoffgas und eine nicht schätzbare Menge kohlensaures Gas. Nach 14 Tagen hatte sich ein dickes Häutchen gebildet, die Luft des Recipienten aber hatte sich an Volumen nicht verändert. Sie enthielt $\frac{5}{100}$ kohlensaures Gas und nach Abzug desselben $\frac{16}{100}$ Sauerstoffgas. Aus diesen Ergebnissen muss man schliessen, dass 40 Cubikcentimeter (2 Cubikzoll) Sauerstoffgas verschwunden, und dass sie durch 2 Cubikzoll kohlensaures Gas ersetzt worden waren, welche nach *Lavoisier* 0,4 Gran Kohlenstoff enthalten. Als das Extract, dem dies Element entzogen worden war, auf dem Wasserbade getrocknet wurde, wog es nicht mehr als 30 Gran. Demnach scheint es von seiner eigenen Substanz $5\frac{1}{2}$ Gran Wasser verloren zu haben. Es war jedoch möglich, dass dies Wasser beim Trocknen verloren gegangen war. Ich löste deshalb 36 Gran getrocknetes Eichen-

holzextract in der gleichen Menge Wasser, wie sie zum vorhergehenden Versuch benutzt worden war. Diese Lösung, welche unmittelbar darauf die gleiche Zeit bei der nämlichen Stärke des Feuers getrocknet wurde, lieferte 34 Gran getrocknetes Extract. [**141**] Die Operation des Trocknens hat also 2 Gran Extract oder vielmehr 2 Gran Wasser, welche der getrockneten Substanz des Extractes angehören, verflüchtigt. Aus allen diesen Versuchen ergiebt sich, dass die 36 Gran Extract vom Sauerstoffgas unter dem Recipienten um $\frac{1}{2}$ Gran Kohlenstoff beraubt worden sind, und dass sie während der nämlichen Zeit eine gleich $3\frac{1}{2}$ Gran grosse Menge Wasser verloren oder bildeten. Ich würde so geringfügige Ergebnisse nicht mit dieser Sicherheit verkünden, wenn ich sie nicht durch eine sehr grosse Zahl anderer Beobachtungen bestätigt gefunden hätte.

Die Abwesenheit des Sauerstoff- und des Wasserstoffgases, welche die Extracte in der Gestalt von Wasser in viel grösserem Verhältniss als den Kohlenstoff verlieren, der ihnen durch das Sauerstoffgas entzogen wird, wirkt dahin, in dem Extract-Rückstand das Verhältniss des Kohlenstoffs zu vergrössern. In der That fand ich, dass 100 Theile des getrockneten Extracthäutchens in ihrem Rückstand bei der Destillation auf freiem Feuer mehr Kohlenstoff liefern als 100 Theile Extract, welche nicht von ihrem Häutchen getrennt worden waren. Weit entfernt aber, dass diese unlöslichen Flocken ein oxydirtes Extract sind, sind sie vielmehr ein desoxydirtes oder mit Kohlenstoff übersättigtes Extract.

Die Säfte der grünen Pflanzen, welche reich an jenem Extractstoff sind, dem *Fourcroy* den Namen vegetabilisches Eiweiss beigelegt hat, weil es einige dem thierischen Eiweiss eigenthümliche Eigenschaften aufweist, absorbiren Sauerstoffgas. [**142**] Die Säfte von Cactus opuntia und Sedum telephium coaguliren bei Berührung mit Sauerstoffgas zu einer gelatinösen und elastischen Substanz, ohne das Volumen dieses Gases zu ändern, welches sie blos in kohlensaures Gas verwandeln.

Aber man muss Sorge tragen, dass man die extrahirten Säfte nicht in solche Gefässe bringt, in denen sie der umgebenden Luft nur wenig Angriffsfläche darbieten. Die Lösung muss über eine grosse Fläche ausgebreitet werden. Ohne diese Vorsicht könnten diejenigen Theile, welche von der Berührung mit dem Sauerstoffgas zu weit entfernt sind, kohlensaures Gas aus ihrer Substanz allein bilden.

Wenn sich die Temperatur am Ende und am Beginne des

Versuches als sehr ungleich erweist, muss man vor Beendigung desselben die extrahirte Flüssigkeit direct auf die Temperatur bringen, welche sie im Augenblick ihrer Einführung in den Recipienten besass, und nicht nach einer Berechnung die in einem solchen Falle übliche Correctur anbringen, weil die Fähigkeit des Wassers, sich mit dem kohlensauren Gas zu verbinden, mit dem Sinken der Temperatur zunimmt.

[**143**] In allen Versuchen, von denen ich gesprochen habe, gingen die vegetabilischen Substanzen niemals in Fäulniss oder in denjenigen Grad der Gährung über, dass sie unter gewissen Umständen Wasserstoff- und Stickgas entwickelten.

§ 2.

Ueber die Rolle des Sauerstoffgases bei der Essigbildung.

Zu allen Zeiten hat man angenommen, dass die Berührung mit der Luft in sehr auffallender Weise die Verwandlung des Weins in Essig begünstige. *Lavoisier**) hat diese Säure fertig gebildet ohne Dazwischenkunft des Sauerstoffgases in den Produkten der Gährung des Zuckers mit Bierhefe gefunden. Da aber der Versuch zeigt, dass eine sehr kleine Menge Sauerstoffgas genügt, um der weingeistigen Flüssigkeit die ausgeprägten Anzeichen von Säure zu geben, so weiss ich nicht, ob das in dem zu diesem Versuche verwandten destillirten Wasser gelöste Sauerstoffgas nicht wesentlich zu der Bildung der Säure beigetragen hat, deren Menge nicht beträchtlich war. Auch kann man nicht wissen, ob die Essigsäure nicht fertig gebildet in der Bierhefe vorhanden war, [**144**] sei es in Verbindung mit Ammoniak oder vielleicht eher noch mit Kleber, welchen sie enthielt. *Berthollet* hat bereits bemerkt, dass dieser Beweis nicht entscheidend sei.**)

Rosier fand, dass das Sauerstoffgas während der Essigbildung absorbirt wurde; er schloss es aus der Verminderung des Volumens, welche die atmosphärische Luft bei dieser Operation erleidet. Ich habe jedoch im vorhergehenden Paragraphen gezeigt, dass diese Verminderung kein Beweis für die Assimilation des Sauerstoffgases durch die pflanzliche Substanz ist, so lange man nicht das Volumen des absorbirten Gases mit dem der Flüssigkeit vergleicht. Ich habe gezeigt, dass das absorbirte

*) Traité élémentaire de Chimie, par *Lavoisier*, p. 143 u. ff.

**) Statique chimique. Bd. 2, p. 525.

Sauerstoffgas sich darauf beschränken kann, kohlensaures Gas zu bilden, welches in der Flüssigkeit gelöst bleibt oder mechanisch zurückgehalten wird.

Während eines ganzen Jahres hielt ich Wein in Berührung mit Sauerstoffgas unter durch Quecksilber verschlossenen Recipienten. Dieser Wein verwandelte sich in Essig, doch fand ich niemals, dass die Volumenverminderung des Sauerstoffgases das Volumen des Weines überschreitet, sie ist vielmehr immer geringer gewesen als dieses.

Als ich diesen Versuch mit Wein anstellte, der soweit künstlich mit kohlensaurem Gas geschwängert worden war, [**145**] dass durch diese Mischung die Atmosphäre nicht mehr vergrössert wurde*), verwandelte sich der Wein gleichfalls in Essig, ohne aber das Volumen seiner Atmosphäre zu verändern, indem er das verschwindende Sauerstoffgas durch ein genau gleiches Volumen kohlensaures Gas ersetzte.

Drei Cubikzoll Bordeaux-Wein, leicht mit kohlensaurem Gas geschwängert und für fünf Monate mit 80 Cubikzoll atmosphärischer Luft in Berührung gebracht, welche in einem durch Quecksilber abgeschlossenen und beständig auf 20 bis 23° Réaumur erwärmten Dampfbade eingeschlossen waren, wurden so sauer, dass sie nicht trinkbar waren und ein schwaches Aufbrausen mit Pottasche hervorriefen. Sie erlitten diese Veränderung, ohne das Volumen ihrer Atmosphäre zu verändern, indem sie mit dem Sauerstoffgas der umgebenden Luft ungefähr sechs Cubikzoll kohlensaures Gas bildeten und ein gleiches Volumen Sauerstoffgas zum Verschwinden brachten. Vier unter den nämlichen Verhältnissen mit verschiedenen Weinen angestellte Versuche lieferten mir übereinstimmende Ergebnisse. [**146**] In einem fünften Versuch beobachtete ich eine kleine Volumenverminderung und eine entsprechende Sauerstoffgasabsorption. In diesem besonderen Fall war der Wein jedoch nicht bei derselben Temperatur angesetzt und gehalten worden; er hatte + 20° Réaumur, als der Versuch begann, und 0°, als er beendet wurde. Ich zweifle nicht, dass die Anziehung des Weines zum kohlensauren Gas, welches sich mit dem Sinken der Temperatur vergrössert, die Ursache dieser Unregelmässigkeit gewesen ist.

---

*) Der Wein allein vergrössert, der Luft beraubt, die Atmosphäre immer ein wenig nach Maassgabe des Alkohols, welcher sich zersetzt und den elastischen Zustand annimmt [gasförmig wird].

Ein frisch bereiteter Teig aus Weizenmehl hat kein Sauerstoffgas gebunden, als er an der atmosphärischen Luft sauer ward; die Wirkung dieses Gases beschränkte sich darauf, demselben Kohlenstoff zu entziehen. Dieser im Sommer angestellte Versuch dauerte ungefähr 60 Stunden.

Drei Cubikzoll Alkohol, für fünf Monate mit 80 Cubikzoll atmosphärischer Luft in Berührung gebracht, erlitten eben so wenig wie die sie umgebende Luft eine Veränderung.

Meine Versuche über die Essigbildung thun der allgemein angenommenen Meinung, dass die Weine durch eine grössere Menge Sauerstoffgas sauer werden, keinen Abbruch; denn sie bestehen zum grossen Theil aus Sauerstoffgas, Wasserstoffgas und Kohlenstoff. Der Entzug des letzteren vergrössert das Verhältniss des Sauerstoffgases.

[**147**] Man könnte annehmen, dass die Weine einerseits Sauerstoffgas aufnehmen, und dass sie andererseits dasselbe durch ein genau gleiches Volumen kohlensaures Gas aus ihrer eigenen Substanz ersetzen. Das hiesse aber, einer Hypothese zu Liebe zu weit gehen, wenn man für beständig einen so genauen Ersatz zugeben wollte. Ueberdies würde das Ergebniss bei dieser Annahme das nämliche sein; die Weine würden sich oxydiren oder sauer werden nur durch den Verlust an Kohlenstoff, weil sie bei der Abgabe von kohlensaurem Gas eben so viel Sauerstoffgas verlieren, als sie aus der atmosphärischen Luft aufgenommen haben.

§ 3.

Ueber den Einfluss des Sauerstoffgases auf todtes Holz.

Wird befeuchtetes Holz in sauerstoffgasfreie Medien gebracht, so fügt es denselben kohlensaures Gas hinzu, welches es ganz aus seiner eigenen Substanz bildet. Diese Bildung hat nicht mehr den nämlichen Ursprung bei Gegenwart von Sauerstoffgas.

Ich mischte 15,29 Gramm ($\frac{1}{2}$ Unze) bei einem bestimmten Grad des Thermometers und des Hygrometers getrocknete Sägespäne eines Eichenstammes mit Wasser, so dass daraus ein Teig entstand. [**148**] Das Gemisch wurde in einer Glaskapsel für fünf Wochen unter einen geräumigen, mit gewöhnlicher Luft gefüllten und mit Quecksilber geschlossenen Recipienten gestellt und einer constanten Temperatur ausgesetzt. Nach dem angegebenen Zeitraum veränderte sich diese Luft nicht an Volumen. Es waren 1,98 Cubikcentimeter (10 Cubikzoll) kohlensaures Gas

gebildet worden, welche den Platz des gleichen Volumens Sauerstoffgas einnahmen; diese Sägespäne wurden unter sonst gleichen Umständen der freien Luft ausgesetzt und nach Ablauf von drei Wochen bei demselben Grad des Thermometers und Hygrometers wie vor ihrer Befeuchtung getrocknet. Es stellte sich heraus, dass ihr Trockengewicht sich um 796 Milligr. oder 15 Gran vermindert hatte. Nun konnten sie während ihres Eingeschlossenseins und während des Trocknens höchstens 159 Milligr. oder 3 Gran Kohlenstoff verlieren; sie hatten also ausser diesem Element als Wasser eine Menge Sauerstoff- und Wasserstoffgas von mindestens 637 Milligramm oder 12 Gran abgegeben. Die Sägespäne hatten sich an ihrer, der Luft ausgesetzten Oberfläche mit einer dunkelbraunen Kruste bedeckt. Hundert Theile dieser letzteren lieferten*) mir bei der Verkohlung 20½ Theile Kohle [**149**], hundert Theile Sägespäne vor ihrer Veränderung durch die Luft nur 17½ Theile Kohle.

Aus diesen und einigen anderen Versuchen ergiebt sich, 1. dass das Holz und der Splint nach ihrem Tode kein atmosphärisches Sauerstoffgas binden; 2. dass sich seine Wirkung darauf beschränkt, ihnen Kohlenstoff zu entreissen; 3. dass diese vegetabilischen Substanzen zu derselben Zeit und in grösserem Verhältniss Sauerstoff- und Wasserstoffgas in Form von Wasser abgeben; 4. dass der Entzug dieser beiden letzteren Elemente in dem Holzrückstand das Verhältniss des Kohlenstoffs vergrössert.

Die Hölzer, welche sich durch den Einfluss des Wassers und ohne Berührung mit Sauerstoffgas zersetzen, wie man das an todten Zweigen wahrnimmt, welche mit einer dichten und derben Rinde versehen sind, erleiden sehr abweichende Veränderungen; ihre Substanz wird weiss, anstatt sich zu schwärzen, und das Verhältniss ihres Kohlenstoffs vermindert sich, anstatt sich zu vergrössern. Ich glaube, dass diese Veränderung zum grossen Theil dem Verluste ihrer Extract- und Farbstoffe zuzuschreiben ist, welche reicher an Kohlenstoff sind als das Holz selbst.

Hundert Theile Eichenholz, welches sich ohne Berührung mit der Luft zersetzt hatte und bleich geworden war, lieferten nach Abzug der Asche 16 Theile Kohle.

[**150**] Hundert Theile Eichenholz, welches bei Berührung mit Luft faulte und schwarz wurde, lieferten nach Abzug der Asche 25½ Theile Kohle.

---

*) Die bei dieser Operation eingeschlagenen Verfahren sind in der Note über die Verkohlungen am Ende des Kapitels V mitgetheilt worden.

Es ist unmöglich, durch wiederholte Abkochungen das Holz in einen solchen Zustand überzuführen, dass es keine Extractstoffe mehr an das Wasser abgiebt. Jede Abkochung oder jede Maceration in Berührung mit Luft liefert ein Extract, welches vorher nicht vorhanden war, oder welches durch einen Austausch der Stoffe in dem bei dem Akt des Kochens oder der Maceration benutzten Wasser löslich wird. Ich liess 92 Gramm (3 Unzen) Sägespäne von Eichenholz eine halbe Stunde lang mit dem vierundzwanzigfachen seines Gewichts destillirten Wassers kochen; die filtrirte und bei gelinder Wärme verdampfte Abkochuug lieferten ein 4,7 Gramm (90 Gran) wiegendes trockenes Extract. Eine zweite Abkochung, ähnlich der ersten, gab ein Extract von 1,5 Gramm (29 Gran) Gewicht. Diese Mengen verminderten sich beständig bis zur 9. Abkochung, die ein 212 Milligramm (4 Gran) wiegendes Extract lieferten. Die 11. Abkochung gab eine ähnliche Menge, und ebenso verhielt es sich mit der 12. Die befeuchteten Sägespäne, welche diesen zwölf Operationen unterworfen wurden, wurden der Luft, aber geschützt vor Staub, zwei Monate lang ausgesetzt. [**151**] Ich versicherte mich während dieses Zeitraums, dass das Holz das Sauerstoffgas nur in kohlensaures Gas verwandelt, ohne dasselbe zu binden. Nach dem angegebenen Zeitraum lieferten die Sägespäne in einer dreizehnten, den vorhergehenden gleichen Abkochung eine Extractmenge, welche 292 Milligramm oder $5\frac{1}{2}$ Gran wog, und welche folglich grösser war als das Product der 9. Abkochung. Eine 14. Abkochung lieferte ein 4 Gran wiegendes Extract; als die Sägespäne aber abermals zwei Monate der Luft ausgesetzt wurden, stieg die durch eine neue Operation gelieferte Extractmenge von Neuem auf $5\frac{1}{2}$ Gran. Das am meisten an Extractstoffen erschöpfte Holz liefert immer, wenn es in kaltem Wasser bei Berührung mit Luft macerirt wird, mit Extracten beladene Aufgüsse. Diese Extracte sind alle in einer kleinen Menge Wasser löslich; sie werden im concentrirten Zustande durch Kalkwasser, durch kohlensaures Kali und durch metallische Lösungen getrübt.

Das Sauerstoffgas wirkt weniger auf das seiner Extractstoffe beraubte Holz, als auf solches, welches mit denselben versehen ist.

Das durch die Abkochung mit einer grossen Menge Wasser seines Extractes beraubte Holz liefert bei gleichem Gewicht weniger Kohle als das natürliche Holz.

[152] Indem der Saft den Splint bildet, erleidet er wahrscheinlich zum Theil ähnliche Veränderungen wie ein Extract, das sich unter dem Einfluss des Sauerstoffgases carbonisirt und theilweise in Wasser unlöslich wird. Aber ohne Zweifel ist folgender Unterschied vorhanden. Bei der Veränderung des Extractes schlägt sich der mehr oder weniger unreine Kohlenstoff nieder oder trennt sich in schwarzer Gestalt von den übrigen Bestandtheilen des Gemisches; durch eine besondere Vertheilung der Stoffe im Safte oder durch die Wirkung der Vegetation bleibt er hingegen mit demselben in Verbindung, um den Splint zu bilden. In dieser in Wasser unlöslichen Verbindung ist das Verhältniss des Kohlenstoffs am grössten; wenn aber der Splint der Wirkung der Luft ausgesetzt wird, wird die Verbindung zerstört; sie trennt sich von ihrem Kohlenstoff, der sich zum Theil mit Sauerstoffgas verbindet, zum grösseren Theil sich aber in der Gestalt von Humus oder sehr unreiner Kohle niederschlägt. Durch die Trennung von diesem Kohlenstoff nähert sich das Holz wieder seinem ersten Ursprung, indem es in den Zustand eines in Wasser löslichen Saftes übergeht. Das fertig gebildete Holz selbst ist häufig vielleicht keine homogene Verbindung mehr, sondern ein sehr verdichteter, mit Kohle oder Humus vermischter Splint. — Siehe die Note über Verkohlungen am Ende des Kapitels V.

[153] § 4.

Ueber die Verdichtung des Sauerstoffgases durch die Oele.

Die Oele bringen das Sauerstoffgas zum Verschwinden, aber sie bewirken diese Erscheinung nicht wie die extrahirten Säfte, wie die weingeistigen Flüssigkeiten und wie das Holz durch blosse Bildung von kohlensaurem Gas. Ich fand, dass das Terpentinöl in dem Zeitraum von vier Monaten das Zwanzigfache seines Volumens an Sauerstoffgas absorbiren konnte, indem es ein Volumen kohlensaures Gas lieferte, das viermal geringer war als das absorbirte Sauerstoffgas. Die Ergebnisse fielen nicht abweichend aus, als das dem Versuch unterworfene Oel vorher mit kohlensaurem Gas gesättigt worden war. *)

*) Als ich diese Versuche anstellte, hatte ich Gelegenheit, eine von *Priestley* mitgetheilte Thatsache zu beobachten, nämlich die, dass Terpentinöl Stickgas absorbirt. Das Volumen des so verdichteten Stickgases schien mir jedoch niemals das Volumen des Oels zu überschreiten. *Priestley* erkannte, dass das Oel mit der Zeit diese

Leinöl konnte in dem Zeitraum von vier Monaten mehr als das Zwölffache seines Volumens an Sauerstoffgas absorbiren, [**154**] ohne eine wahrnehmbare Menge kohlensaures Gas an seine Atmosphäre abzugeben. Es ist unter allen von mir geprüften sowohl thierischen wie pflanzlichen Substanzen die einzige gewesen, welche mir dies Ergebniss lieferte. Diese Eigenschaft könnte sie für eudiometrische Versuche geeignet machen. Das Leinöl, welches zu meinen Versuchen diente, verdichtete kein Stickgas und gab bei der Temperatur der Luft in luftförmigen, des Sauerstoffgases beraubten Medien kein Gas ab.

Das Auftreten von Wasser in den thierischen wie pflanzlichen Oelen, welche lange Zeit der Wirkung der Luft ausgesetzt gewesen waren, wurde durch sehr zahlreiche Beobachtungen festgestellt. Dies könnte zur Vermuthung führen, dass das absorbirte Sauerstoffgas von diesen Substanzen nicht gebunden wird. Ich konnte die Bildung von Wasser in den Versuchen, deren Einzelheiten ich mitgetheilt habe, nicht bemerken, aber vielleicht sind sie nicht lange genug fortgesetzt worden: das Oel konnte das Wasser, welches es zu bilden beitrug, gelöst oder suspendirt zurückhalten. Man muss deshalb auf neue Beobachtungen harren, um zu entscheiden, ob dieVerharzung der Oele durch die Wirkung der Luft einem Entzug ihrer Elemente oder einer Hinzufügung von fremdem Sauerstoffgas oder beiden Ursachen zusammen zuzuschreiben ist. [**155**] Wir begnügen uns damit, zu bemerken, dass der Entzug von Kohlenstoff nur wenig oder gar nicht zu dieser Verharzung beiträgt.

Die Oele scheinen bei den Vegetationsvorgängen Sauerstoffgas nicht zu absorbiren oder zu binden, sie scheinen diese Eigenschaft nur zu besitzen, wenn sie für das Gewächs, das sie hervorgebracht hat, ein Secret oder ein fremder Körper geworden sind. So wird das Sauerstoffgas beim Keimungsprocess nicht merklich von den Samenkörnern des Leins und des Hanfes absorbirt, welche beim Auspressen Oele liefern, die ihn verdichten. Diese Samenkörner verändern ihn nur wie die schleim- und stärkehaltigen Samen, indem sie ihn in kohlensaures Gas verwandeln.

Eigenschaft verliert, und dass es sie wiedererlangte, als es dem luftleeren Raum ausgesetzt wurde. Es erscheint demnach sehr wahrscheinlich, dass das Stickgas bei dieser Verbindung seinen Wärmestoff nicht verliert.

§ 5.

Ueber die Verdichtung des Sauerstoffgases durch in Fäulniss begriffene vegetabilische Stoffe.

Die Gewächse vermehren in keinem Stadium ihrer Gährung jemals das Volumen der Atmosphäre, mit welcher sie in unmittelbarer Berührung sind, wenn dieselbe eine grosse Dosis Sauerstoffgas enthält. Enthält sie jedoch wenig oder gar kein Sauerstoffgas, so vergrössern sie das Volumen in den ersten Stadien ihrer Gährung [156] durch reines kohlensaures Gas und bei ihrer Fäulniss oder im letzten Stadium der Gährung durch Wasserstoffgas oder durch verschiedene brennbare, mit kohlensaurem Gas und Stickgas gemischte Gase.

Ich habe mehrmals Gelegenheit gehabt, eine Erscheinung wahrzunehmen, welche schon *Berthollet**) mit jener Genauigkeit beschrieben hat, die seine Beobachtungen kennzeichnet; dass nämlich ein in Fäulniss begriffener Körper, dessen sämmtliche Theile mit atmosphärischer Luft in Berührung sind, niemals Wasserstoffgas an dieselbe abgiebt, noch ihr Stickgas hinzufügt.

Es schien mir, dass, so lange die in Gährung begriffenen vegetabilischen Substanzen in einer sauerstoffgasfreien Atmosphäre kein Wasserstoffgas abgeben, sie das Volumen einer Sauerstoffgasatmosphäre nicht verändern. Bringt man sie jedoch in diese zu einer Zeit, wo sie unter Wasser oder im Stickgas Wasserstoffgas entwickeln können, so erfährt das Sauerstoffgas durch sie eine Verdichtung. Ich beraubte Erbsen ihres Lebens, indem ich sie einige Augenblicke in kochendes Wasser tauchte. Diese Erbsen gaben aufgequollen und unter Wasser liegend anfangs kein Gas an dasselbe ab; [157] zuerst erschien das kohlensaure Gas; ihm folgte das Wasserstoffgas. Als ich die Erbsen unmittelbar nach ihrem Tode in eine Atmosphäre gewöhnlicher Luft gebracht hatte, veränderte diese nach vier Tagen ihr Volumen nicht. Es waren aus derselben 6 Cubikzoll Sauerstoffgas verschwunden, welche 6 Cubikzoll kohlensaurem Gas Platz gemacht hatten. Als ich nach diesem Versuche die nämlichen Erbsen in Wasser tauchte, fingen sie nach zwei Tagen an, brennbares Gas zu entwickeln. Alsdann brachte ich sie in unmittelbare Berührung mit 100 Cubikzoll durch Quecksilber

*) Statique chimique, Bd. 2, p. 546.

abgesperrte atmosphärische Luft; nach Ablauf von drei Tagen hatte sich diese Atmosphäre um einen Cubikzoll verdichtet; bei der eudiometrischen Prüfung fand ich, dass 7 Cubikzoll Sauerstoffgas verschwunden und nur durch 6 Cubikzoll kohlensaures Gas ersetzt worden waren. Diese Atmosphäre enthielt kein Wasserstoffgas. Bohnen, Saubohnen und Kartoffelwurzeln lieferten mir während der Zeit, da sie Wasserstoffgas ausgaben, die nämlichen Ergebnisse wie die Erbsen.

Unter einen 1070 Cubikcentimeter (54 Cubikzoll) atmosphärische Luft haltenden Recipienten brachte ich 3,82 Gramm (1 Quentchen) frischen Kleber. [**158**] Nach acht Tagen, während welcher Zeit sich die Temperatur constant zwischen 10 und 12° Réaumur gehalten hatte und der Kleber erweicht zu sein schien, hatte die Luft des Recipienten ihr Volumen nicht geändert. Es waren 59 Cubikcentimeter (3 Cubikzoll) Sauerstoffgas verschwunden, die durch das gleiche Volumen kohlensaures Gas ersetzt worden waren. Der Kleber hatte um diese Zeit nur den säuerlichen Geruch eines Teiges aus Weizenmehl, der zu gähren anfängt. Durch drei Stunden langes Trocknen reducirte er sich auf 1,35 Gramm, während er sich vor dem Versuch nach dem Trocknen auf 1,48 Gramm oder 28 Gran belief. Er hatte also von seiner Trockensubstanz 2 Gran Wasser verloren.

Ich setzte den Versuch unter denselben Umständen mit 3,82 Gramm (1 Quentchen) desselben Klebers fort, der bis zu dem Grade der Gährung gebracht worden war, wo ich ihn im vorhergehenden Versuche verlassen hatte. Als ich ihn unter Wasser legte, fing er an, Wasserstoffgas zu entwickeln. Nach 8 Tagen hatten sich die 54 Cubikzoll atmosphärischer Luft um $\frac{3}{4}$ Cubikzoll vermindert; sie enthielten dann $\frac{8}{100}$ kohlensaures Gas und nach Abzug derselben $11\frac{1}{2}$ Hundertstel Sauerstoffgas. $9\frac{1}{2}$ Theile Sauerstoffgas waren verschwunden und nur durch 8 Theile kohlensaures Gas ersetzt worden. [**159**] Der Kleber schwamm in dem von ihm gebildeten Wasser; ich trocknete ihn bei gelinder Wärme, durch diese Operation reducirte er sich auf 1,38 Gramm (26 Gran). Er hatte also 46 Gran Wasser geliefert. Diese Flüssigkeit enthielt Ammoniak, dessen Gewicht aber unbedeutend war; sie färbte die Pflanzenfarben nicht grün, wahrscheinlich, weil das Ammoniak theils mit dem Kleber selbst, theils mit Essigsäure verbunden war. Der Kleber bedeckte sich während seiner Fäulniss mit einem schwarzen Staub, der nicht auftrat, als er unter Wasser ohne Berührung mit Luft faulte.

Rückblick.

Aus den in diesem Kapitel mitgetheilten Beobachtungen ergiebt sich, dass das Sauerstoffgas im Allgemeinen (wenn man von den Oelen absieht) während der ersten Stadien der Gährung von den todten Gewächsen nicht gebunden wird, dass er sich ebenso wenig mit ihrem Wasserstoffgas verbindet, um Wasser zu bilden, und dass er ihnen nur Kohlenstoff entzieht. So wird das Sauerstoffgas bei der Essigbildung, bei der Fällung der Extracte und beim Gerinnen des pflanzlichen Eiweisses nur zur Kohlenstoffentziehung benutzt. Indessen ist das Verhältniss dieses Elementes in den nach dem Entzug verbleibenden Rückständen nicht vermindert [**160**], weil die vegetabilischen Substanzen, um die es sich handelt, zu gleicher Zeit in der Gestalt von Wasser einen Theil ihres Sauerstoff- und Wasserstoffgases verlieren.

Aber das Sauerstoffgas verbindet sich entweder mit dem Wasserstoffgas der todten Gewächse oder mit ihrer ganzen Substanz, wenn sie in Fäulniss übergehen und in das Stadium der Gährung eintreten, in welchem sie Wasserstoffgas entwickeln können. Da der Zeitpunkt dieser Bindung genau derjenige der Entwicklung von Wasserstoffgas ist, da der letztere sich nicht mehr in dem Sauerstoffgas findet, mit dem das faulende Gewächs in unmittelbarer Berührung ist, und da endlich in diesem Stadium der Gährung das Auftreten von Wasser sehr zugenommen hat, muss man vermuthen, dass das Sauerstoffgas, welches verschwunden ist, und welches sich in dem zu derselben Zeit gebildeten kohlensauren Gas nicht wiederfindet, nicht von der vegetabilischen Substanz gebunden, sondern zur Bildung von Wasser verwendet worden ist.

Ein wichtiger Unterschied ist zu beachten zwischen den Producten der Gährung, welche ohne Berührung, und derjenigen, welche mit Berührung mit Sauerstoffgas statthat. Im ersteren Falle schöpft das sich entwickelnde kohlensaure Gas [**161**] seine beiden Elemente aus dem gährenden Gewächs, während das kohlensaure Gas im zweiten Falle nur eines seiner Elemente (den Kohlenstoff) aus der in Gährung begriffenen Substanz zu ziehen scheint.

Inhaltsverzeichniss.

Anmerkungen.

1. Die in den Recherches chimiques sur la végétation 1804 von *Saussure* niedergelegten Untersuchungen bilden die eigentliche Grundlage für die Ernährungslehre der Pflanzen, und zwar sind in diesem Hefte zunächst diejenigen Abschnitte in Uebersetzung wiedergegeben, welche hauptsächlich die Production organischer Substanz in der grünen Pflanze sowie die Athmungsvorgänge behandeln. War bereits, insbesondere durch *Ingenhousz* und *Senebier*, eine gewisse Einsicht in diese Vorgänge gewonnen worden, so hat doch erst *Saussure* diese Probleme in ihrer vollen Bedeutung erfasst und durch ausgezeichnete Versuchsanstellungen, namentlich auch durch quantitative Bestimmungen, auf einen sicheren empirischen Boden gestellt. Die fernere Entwicklung dieser Disciplin hat sich denn auch im Wesentlichen in Anlehnung an diese Fundamente und im weiteren Ausbau des durch diese Untersuchungen geschaffenen Rahmens vollzogen.

Ein in gleicher Weise bahnbrechendes Werk ist seit *Saussure* auf dem Gebiet der Ernährungslehre nicht wieder erschienen, und ein sorgfältiges Studium dieser durch klare Fragestellung wie durch einfache und vortreffliche Methodik gleich ausgezeichneten Untersuchungen kann nicht genug empfohlen werden. Man muss aber wohl beachten, dass *Saussure* die Darstellung eng der methodischen Forschung anschliesst, die Resultate also für

sich selbst sprechen lässt, ohne eine didaktische Behandlung der Ernährungslehre zu beabsichtigten. Kann eine solche Behandlung uns nur als Vortheil erscheinen, so ist doch andererseits zu bedauern, dass *Saussure* seine Zeit nicht mit einer zusammenfassenden Darstellung der Ernährungslehre beschenkte. Durch eine solche würden vermuthlich viele der Verirrungen vermieden worden sein, welche die nachfolgenden Decennien zeitigten. In diesen wurden die einschlägigen Fragen wesentlich von Männern discutirt, denen eine genügende, durch empirische Erfahrung geläuterte Einsicht auf diesem Gebiete abging, um die an sich so klaren Resultate *Saussure*'s richtig interpretiren und zum Ausbau der Ernährungslehre verwenden zu können.

Bei der Seltenheit und dem hohen Preise des Originals dürfte eine Uebersetzung dieses Werkes besonders willkommen sein, welche ich auf Veranlassung von Herrn Professor *Pfeffer* ausführte.

2. Die in eckige Klammern gesetzten Zahlen bedeuten die Seitenzahlen des Originals. Sonstige Bemerkungen in eckigen Klammern sind Zusätze des Uebersetzers.

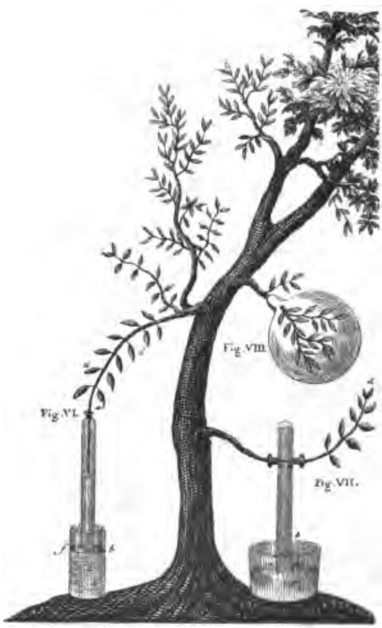
3. S. 20 sind in der 2. Anm. *Crell*'s Annalen erwähnt. Der ausführliche Titel dieser Zeitschrift lautet: *v. Crell*, Annalen für Freunde der Naturlehre und der Arzneikunde.

4. Die Figuren der Tafel sind nach dem Original, wenn auch in etwas anderer Ordnung und geringerer Grösse reproducirt worden. Die Figuren I—V sind um ein Drittel, die Figuren VI—VIII um die Hälfte verkleinert worden.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Fig. V.





Nr. 12. **I. Kant,** Theorie d. Himmels. (1755.) Herausg. v. H. Eber
(101 S.) ℳ 1.50.

» 13. **Coulomb,** 4 Abhandlgen über d. Elektricität u. d. Magnetism
(1785–1786.) Übers. u. herausg. v. W. König. Mit 14 Tex
(88 S.) ℳ 1.80.

» 14. C. F. Gauss ... Function
ℳ 1.50.
» ... ion. (180
ℳ 1.80
» ...) ℳ 1.8
» ... Übers. u. in
... lasius.
» ... r Speichel-
... g, Mittlg.
... r-Speichels
... Bahnen etc.
» ...